

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005年1月13日 (13.01.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/003827 A1

(51) 国際特許分類: G02B 6/00, 6/10, 6/255, 6/38

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/009619

(22) 国際出願日: 2004年6月30日 (30.06.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-189726 2003年7月1日 (01.07.2003) JP
特願2003-189724 2003年7月1日 (01.07.2003) JP
特願2003-189655 2003年7月1日 (01.07.2003) JP
特願2003-194476 2003年7月9日 (09.07.2003) JP
特願2003-346905 2003年10月6日 (06.10.2003) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日立電線株式会社 (HITACHI CABLE, LTD.) [JP/JP]; 〒1008166 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 Tokyo (JP). 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

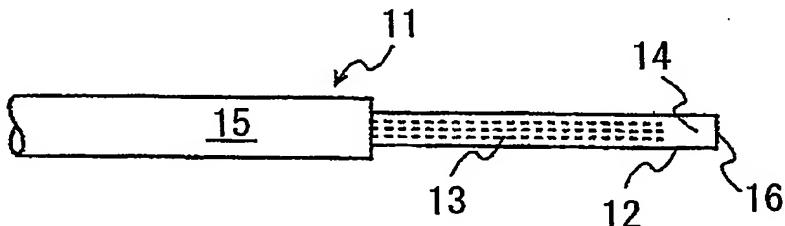
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 黒沢芳宣 (KUROSAWA, Yoshinori) [JP/JP]; 〒1008166 東京都千代田区

(74) 代理人: 平田忠雄 (HIRATA, Tadao); 〒1020075 東京都千代田区三番町1番地13ワールド・ワイド・センター 平田国際特許事務所 Tokyo (JP).

[統葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER, OPTICAL FIBER CONNECTING METHOD, AND OPTICAL CONNECTOR

(54) 発明の名称: 光ファイバ、光ファイバの接続方法及び光コネクタ



WO 2005/003827 A1

(57) Abstract: An optical fiber which, at an optical fiber connecting end having a plurality of voids around the periphery of a core, has a light-permeable substance, such as a resin or glass whose refractive index is lower than that of quartz type substances, filled in the voids adjacent the connecting end. An optical fiber connecting section where an optical fiber having a plurality of voids in a clad around the periphery of a core is connected to another optical fiber, wherein the optical fiber is connected end-to-end to aforesaid another optical fiber through a refractive index matching agent whose refractive index at the minimum temperature in actual use is lower than that of the core.

(57) 要約: コアの周囲に複数の空孔を有する光ファイバの接続端部において、接続端部近傍の空孔に石英系材料より屈折率が低い樹脂またはガラス等の光透過性物質が充填されている光ファイバ。コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の最低温度における屈折率が上記コアより低い屈折率整合剤を介して上記他の光ファイバと突き合わせ接続した光ファイバの接続部。



(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドスノート」を参照。

明細書

光ファイバ、光ファイバの接続方法及び光コネクタ

5 本出願は、日本特許出願番号2003-189724、2003-189655、2003-194476、2003-189726及び2003-346905に基づいており、この日本出願の全内容は、本出願において参照され導入される。

10 技術分野

本発明は、コアの周囲に複数の空孔を有する光ファイバに関し、特に、フォトニック結晶ファイバと、それよりもモードフィールド径が大きいシングルモードファイバとの接続方法及び光コネクタに関する。

さらに、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さいクラッドを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバにおける端部の封止構造及びその封止方法に関する。

さらに、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さいクラッドを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバ及びその光ファイバコネクタに関する。

さらに、本発明は、コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部、およびこの接続部を筐体内に収納してなる光ファイバ接続器に関する。

25 背景技術

従来、一般的に使用されている光ファイバは光を閉じ込めるコアと、そのコアより屈折率が僅かに低いクラッドがコアの円周方向に覆設された2層構造により構成され、コア、クラッド共に石英系材料で形成される。その2層構造ファイバはコアの屈折率がクラッドの屈折率より高

いため、その屈折率差によって光がコアに閉じ込められ、光ファイバ内を伝搬する。

シングルモードファイバ同士の接続方法については、コネクタやメカニカルスプライスによる接続方法がある。コネクタ接続はそれぞれの光ファイバが各々の光コネクタに接着され、容易に着脱できる方法であり、メカニカルスプライスは、それに設けられたV字溝等において光ファイバの端面を突き合わせ、接続された両光ファイバを強固に保持するのが特徴である。通常のシングルモードファイバの接続技術は十分開発されている。

最近ではフォトニック結晶光ファイバ（PCF：Photonic Crystal Fiber）が注目されつつある。

PCFは、クラッドにフォトニック結晶構造、即ち、屈折率の周期構造を有する光ファイバである。その周期構造を光の波長ないしはその数倍程度まで小さくし、結晶中に欠陥や局所的不均一性を導入することで、光を局在させることができる。

このPCFの断面構造を図5によって説明する。

PCF41はファイバ内の屈折率がすべて同じクラッド42のみ形成され、その中心から多数の円柱空孔43を六方格子状に配列し、その円柱空孔43の長さはファイバ41全長におよぶ。従来のコアに相当する光の閉じ込め機能を有する部材は、ファイバ41中心部である結晶欠陥部44に対応する。

具体的には、クラッド径 $\phi 125\mu\text{m}$ の純粋石英ファイバで、クラッド42に径 $\phi 3\mu\text{m}$ の円柱空孔43が中央から周期的に六方格子状（4周期構造）に配置され、その中心は空孔が形成されておらず（結晶欠陥）、その部分が光を閉じ込めるコア44になる。

光閉じ込め効果の大きいPCFと、現在長距離大容量通信に用いられるシングルモードファイバ（SMF：Single Mode Fiber）との接続技術は必要不可欠である。

特開2002-243972号公報は、PCFの接続端部を加熱して

フェルールに装着するという P C F と S M F との接続方法を開示する。

しかしながら、上記接続方法は、ファイバのコアがクラッドよりも屈折率が高い媒質で形成された P C F にしか適用できない。言い換えれば、上記接続方法は、コアとクラッドの屈折率が等しく、フォトニック結晶構造（円柱空孔）によりコアとクラッドとの間に等価的に屈折率差を設けてコアに光を閉じ込めるファイバ構造に適用することができない。何故なら、P C F の接続端部が加熱される際に円柱空孔の壁が融着し円柱空孔が消失するので、コアが存在しなくなるからである。この場合、P C F とそれに接続される S M F とのコア同士が、コアの存在しない部分を介して接続されることになるので、接続損失が増大することになる。

従って、本発明の第 1 の目的は、接続損失の増加を抑えることができる、P C F タイプの光ファイバ、該光ファイバと S M F との接続方法及び光コネクタを提供することにある。

一方、P C F の一種であるホーリーファイバ (H F: Holey Fiber) は、従来の光ファイバのコア近傍のクラッド部に空孔を存在させることによりクラッドの実効的な屈折率を下げて、コア／クラッド間の比屈折率差を拡大させることで、従来の光ファイバと比較して曲げ損失特性を大幅に向上させることができる（姚兵ほか「ホーリーファイバの実用化に関する一検討」、信学技報（社）電子情報通信学会、Vol.102, N0.581、p47～50、長谷川健美「フォトニック結晶ファイバおよびホーリーファイバの開発動向」、月刊誌「オプトロニクス」、オプトロニクス（株）発行、N0.7, p203～208 (2001)）。

このような H F は、クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在するが、これらの空孔は、端部が開放されていると、水分が内部に進入する結果、機械的強度の劣化が生じたり、温度変化による露結によって光学的特性の変動が生じたりすることがある。

特開 2002-323625 号公報は、このような問題を解決する方法として、(1) 光ファイバの端面部を融着器（気体放電により光ファイバを溶融させて接続する装置）で加熱してクラッドを軟化させ空孔を

つぶす方法、(2) 中空部内に硬化性物質を挿入する方法、(3) 中空部に外部から蓋を取り付ける方法、により光ファイバの空孔を封止する方法を開示する。

しかしながら、(1) の方法では、空孔周囲のクラッド材が溶融して
5 空孔を埋めることにより封止されるので、材料の量が変わらない分、光
ファイバの外径(クラッド径)は小さくなってしまう。たとえば、クラ
ッド径が $125\text{ }\mu\text{m}$ で、直徑が $10\text{ }\mu\text{m}$ の空孔が 4 つあった場合を考え
ると、単純計算ではクラッド径は $123\text{ }\mu\text{m}$ 程度となり、約 $2\text{ }\mu\text{m}$ 小さ
くなってしまう。この量は通常のコネクタ接続にあたっての標準的フェ
10 ルールの内径寸法から外れるほど大きいものである。また、加熱源が融
着器の場合には、放電気体の温度が高くなるためにクラッド表面での蒸
発の影響もあって実際の寸法はさらに小さくなり、空孔の総断面積が
もっと大きな場合は寸法減少がより顕著となる。このため、封止後のクラ
ッド径に適合するフェルールの選択にも手間がかかることになる。し
15 かも、放電気体が光ファイバ端面とその周囲のクラッド表面を一緒に加
熱することになるため、光ファイバ端部のエッジが丸まってしまうため、
端面周囲の寸法が変化しやすい欠点がある。

(2) の方法では、硬化性物質が硬化する際に体積収縮を伴うので、
硬化部内に気泡が発生する。気泡内の空間は約 1 の屈折率を有する。そ
20 のため、硬化性物質と気泡と間の屈折率差が非常に大きくなり、そのよ
うな屈折率変化の大きな部分がコア近傍にあると、光ファイバの導波路
構造に影響を与え、大きな損失を発生させる原因となってしまう。

(3) の方法では、端面周囲の寸法が著しく変化するという欠点がある。

従って、本発明の第 2 の目的は、クラッド径を正確に維持したまま、
光ファイバの導波路構造に影響を与えることなく、端面周囲の寸法を維
持し得る光ファイバ端部の封止構造およびその封止方法を提供することにある。

一方、上記ホーリーファイバにおいて、コネクタ加工を施す際に、そ

のまま端面を研磨加工すると、研磨粉や研磨剤が、ファイバの空孔に侵入しコネクタ加工作業終了後にも残留してしまう。残留した研磨粉や研磨剤は、コネクタの脱着を繰り返すと空孔から脱離し、ファイバ研磨面に付着することがある。ファイバ研磨面に研磨粉や研磨剤が付着した状態でコネクタ接続を行うと、コネクタ端面同士の密着が妨げられ損失増加の要因となるばかりではなく、最悪の場合、研磨面を傷つけ端面のクリーニングをしても損失増加が戻らない恐れがある。

従って、本発明の第3の目的は、研磨加工時に発生する研磨粉や研磨剤がファイバ端面の空孔に残留することなく、低損失に接続ができる、かつ、長期信頼性にも優れた光ファイバ及び光ファイバコネクタを提供することにある。

ホーリーファイバ (HF) を再度詳細に説明する。図17に示すように、HF 361は、純粹石英にゲルマニウムが添加されたコア362の外周に、純粹石英からなるクラッド363を形成し、そのクラッド363内にコア362を取り囲むように軸方向に延びる複数の空孔364(図17では6個)を形成したものである。詳細は示していないが、HF 361は、クラッド363の外周に被覆層が形成された光ファイバ心線として使用される。

コア362は、通常のシングルモードファイバ (SMF) のコアと同様のものである。コア径φは9 μm、クラッド径φは125 μm、空孔364の内径φは8 μmである。コア362の屈折率は1.463、クラッド363の屈折率は1.458であり、コア362のクラッド363に対する比屈折率差は通常のSMFと同様約0.35%である。

HF 361の特長は、空孔364の屈折率が約1であり、実効的な比屈折率差が約32%と通常のSMFよりはるかに大きいことから、コア362への光の閉じ込め効果が高い点である。このため、HF 361は、例えば、HF 361を曲げた時に発生する損失が極めて小さいという特長を有する。

図18に示すように、従来の光ファイバの接続部370は、被覆層を

除去して端末処理したHF361の端面361aを、ゲル状の屈折率整合剤r7を介して、被覆層を除去して端末処理したSMF371の端面371aと突き合わせ接続したものである。SMF371は、HF361のコア362と同じ屈折率で同径のコア372の外周に、HF361のクラッド363と同じ屈折率で同径のクラッド373を形成したものである。

屈折率整合剤r7は、突き合わせ接続後のHF361の端面361aとSMF371の端面371a間に、端末処理時の誤差によって空気層が形成されることがあるので、この空気層によって生じる屈折率差によるフレネル反射損失を低減する目的で使用される。

屈折率整合剤r7は、例えば、図19の温度特性線381に従う温度特性を有する。この屈折率整合剤r7の屈折率は、フレネル反射損失を極力小さくするために、室温付近で、図18で説明したHF361のコア362やSMF371のコア372の屈折率にほぼ等しい1.463付近となっている。なお、屈折率は波長によりその値が異なるが、本明細書の説明では特に断らない限り、 n_D^{25} で示される測定値、すなわち、NaのD線（波長587.56nm）を用いた25℃における測定値とする。

また、光ファイバの接続部370を収納した従来の光ファイバ接続器の一例として、図20に示すような单心メカニカルスライス391がある（例えば、特開2000-241660号公報、特開2002-236234号公報参照）。メカニカルスライス391は、対向する光ファイバ同士を突き合わせて支持し位置決め調芯するためのV溝を有するV溝基板392と、基板392に重ね合わされ、V溝に挿入した光ファイバを押さえるための蓋部材393と、基板392と蓋部材393とを挟持するための挟持部材394とを備えている。

基板392と蓋部材393の重ね合わせ部には、その側端部にくさび挿入部395が形成され、その両端にガイド穴396が形成される。筐体397は、基板392と蓋部材393とで構成される。

メカニカルスプライス 391 では、予め光ファイバの突き合わせ位置 (基板 392 および蓋部材 393 の内面中央部) に図 18 および図 19 で説明した屈折率整合剤 r7 を充填しておき、くさび挿入部 395 にくさびを挿入して基板 392 と蓋部材 393 間に隙間を形成し、ガイド穴 396 からこの隙間に端末処理した HF361 および SMF371 を挿入して V 溝内で突き合わせた後、くさびを抜き去り、HF361 と SMF371 を基板 392 と蓋部材 393 とで把持して固定・接続する。

これにより、メカニカルスプライス 391 の筐体 397 内に図 18 で説明した光ファイバの接続部 370 が収納され、HF361 と SMF371 が突き合わせ接続される。

このように、メカニカルスプライス 391 を用いて HF361 と SMF371 を接続する場合も、HF361 のクラッド径が SMF371 のクラッド径と等しいので、通常の SMF 同士の接続と全く同様に行える。

しかしながら、従来の光ファイバの接続部 370 では、HF361 を屈折率整合剤 r7 を介して SMF371 と突き合わせ接続しているので、毛細管現象により、HF361 の各空孔 364 内に屈折率整合剤 r7 が端面 361a から数百 μm の深さにわたって侵入する。

クラッド 363 の屈折率は 1.458 であり、各空孔 364 の屈折率は 1 であるが、各空孔 364 内に室温下での屈折率が 1.463 の屈折率整合剤 r7 が侵入すると、中央部の本来のコア 362 の周囲に擬似的な 6 個のコアが形成されることになる。

このため、接続後の HF361 の実効的なコア径は、言い換えれば光が伝播しうる直径 (モードフィールド径 : MFD) は、実質的に接続前の 9 μm より大きくなる。その結果、SMF371 との MFD の差が発生し、HF361 と SMF371 との接続損失が大きくなるという問題がある。

例えば、図 20 で説明したメカニカルスプライス 391 を用いて HF361 と SMF371 を接続すると、波長が 1.55 μm での室温付近における接続損失は約 0.85 dB と大きくなってしまう。ちなみに、

コア径が等しい通常のSMF同士の接続損失は0.1dB前後である。

ここで、図21に、接続後のメカニカルスプライス391の温度範囲-30～+70℃における接続損失の温度特性を示す。図21に示すように、接続直後の室温での接続損失は0.8dBを超えており、温度上昇に伴って接続損失が0.1dB前後まで回復した。

高温域で接続損失が回復するのは、図19の温度特性線381に示したように、屈折率整合剤r7は高温になるにつれて屈折率が低下し、60℃付近でクラッド363と屈折率が等しくなって光を閉じ込める効果が消滅し、通常のSMF同士と同等の接続損失を示すからである。

一方、低温域では、図19の温度特性線381に示したように、逆に屈折率整合剤r7は屈折率が大きくなるので、クラッド363との屈折率差が拡大し、光の閉じ込め効果が増大した。そのため、本来のコア362と屈折率整合剤r7が侵入した6個の空孔364とで形成される実質的なコアの光の閉じ込め効果も増大し、室温時に比べてMFDがさらに大きくなり、対向するSMF371とのMFD差が拡大した。-30～10℃における接続損失は1dB前後と非常に高かった。

したがって、従来のメカニカルスプライス391は、接続損失の温度特性変化が大きく、特に低温域で接続損失が増加するという問題がある。

従って、本発明の第4の目的は、接続損失が小さく、接続損失の温度特性変化が小さい光ファイバの接続部及び光ファイバ接続器を提供することにある。

一方、光ファイバの接続部370やメカニカルスプライス391では、HF361の端面361aおよびSMF371の端面371aで反射量を小さくすることが要求される。

従って、本発明の第5の目的は、接続損失および反射量が小さく、接続損失および反射量の温度特性変化が小さい光ファイバの接続部及び光ファイバ接続部を提供することにある。

(本発明の第1の側面) 上記第1の目的を達成するために、本発明は、コアの周囲に複数の空孔を有する光ファイバの接続端部において、接続端部近傍の空孔に石英系材料より屈折率が低い樹脂またはガラス等の光透過性物質が充填されている光ファイバを提供する。

5 上記光ファイバは、好ましくは、前記空孔が中央から周期的に六方格子状に配列され、中央に結晶欠陥のあるフォトニック結晶光ファイバ(PCF)である。

上記光ファイバは、コアまたはクラッドに、ファイバの軸心方向に延びる空孔を複数有するホーリー光ファイバであっても良い。

10 上記光ファイバは、空孔充填用樹脂がUV硬化型樹脂であっても良い。さらに、本発明は、上記光ファイバを、V溝等の接続器を用いて、そのV溝上で前記光ファイバよりもモードフィールド径が大きい光ファイバと突き合わせ、接続する前記光ファイバの接続方法を提供する。

15 さらに、本発明は、上記光ファイバをフェルールに装着し、端面を研磨処理した光ファイバコネクタを提供する。

本発明の第1の側面によれば、以下の効果が得られる。

(1) コア、クラッドの屈折率が等しく、モードフィールド径が通常のSMFよりもはるかに小さいPCFでも、低損失でSMFとの突き合わせ接続が可能になる。

20 (2) 光ファイバの強度劣化や伝送損失の増加を防止できる。

(本発明の第2の側面) 上記第2の目的を達成するために、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部において、前記空孔がガラスからなる封止部によって封止されており、かつ当該封止部が形成されている部分のクラッド外径が、封止部が形成されていない部分のクラッド外径と同一である、光ファイバ端部の封止構造を提供する。

前記封止部は、光ファイバを構成するガラスと同一成分のガラスで構成しても良い。

前記封止部は、光ファイバを構成するガラスよりも低融点のガラスで構成しても良い。

前記光ファイバは、コネクタフェルールに装着固定されていても良い。

さらに、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、当該端面から前記光ファイバを構成するガラスと同一の成分のガラス粉末を前記空孔に挿入した後、前記光ファイバの端部を加熱して前記ガラス粉末を溶融させることにより、前記空孔を封止する、光ファイバ端部の封止方法を提供する。

さらに、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、当該端面から前記光ファイバを構成するガラスよりも低融点のガラス粉末を前記空孔に挿入した後、前記空孔の端部近傍を局所的に加熱して前記ガラス粉末を溶融させることにより、前記空孔を封止する、光ファイバ端部の封止方法を提供する。

さらに、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、前記空孔の端部近傍を局所的に加熱して前記空孔を封止する、光ファイバ端部の封止方法を提供する。

炭酸ガスレーザ光を照射することにより、前記空孔の端部近傍を局所的に加熱溶融させて前記空孔を封止することができる。

前記光ファイバは、予めコネクタフェルールに装着固定されていてもよい。

本発明の第2の側面によれば、以下の効果が得られる。

本発明の光ファイバ端部の封止構造は、空孔がガラスからなる封止部によって封止されているので、水分等の侵入による機械的強度の劣化や

温度変化による露結による光学的特性の変動を防止できる。また、封止部が形成されている部分のクラッド外径が、封止部が形成されていない部分のクラッド外径と同一であるので、クラッド径を正しく維持したまま、光ファイバの導波路構造に影響を与えることなく、端面周囲の寸法 5 を維持し得るものとなる。このため、ホーリーファイバ同士の接続、ホーリーファイバと通常のシングルモードファイバの接続を容易することができる。したがって今後多様な応用が可能になる結果、今後の光ファイバ応用技術の進展に大いに寄与できる。

さらに、本発明の光ファイバ端部の封止方法は、光ファイバを構成するガラスと同一の成分のガラス粉末を光ファイバの空孔に挿入し、光ファイバの端部を加熱してガラス粉末を溶融させることにより空孔を封止しているので、前記の光ファイバ端部の封止構造を確実に実現することができる。また、光ファイバを構成するガラスと同一の成分のガラス粉末を用いているので、得られた封止部はひずみが生じにくく、信頼性 15 に優れたものとなる。

さらに、本発明の光ファイバ端部の封止方法は、光ファイバを構成するガラスよりも低融点のガラス粉末を空孔に挿入し、空孔の端部近傍を局所的に加熱してガラス粉末を溶融させることにより空孔を封止しているので、光ファイバが溶融しない加熱温度を選ぶことができる。この 20 ため、クラッド表面まで加熱することができ、加熱手段として従来の方法を広く選ぶことができる。

さらに、本発明の光ファイバ端部の封止方法は、空孔の端部近傍を局所的に加熱して空孔を封止しているので、ガラス粉末を用いることなく簡便な方法で、空孔の端部を封止することができる。

25 (本発明の第3の側面) 上記第3の目的を達成するために、本発明は、屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッド内にファイバ軸心方向に延びて複数の空孔が形成された光ファイバにおいて、前記複数の空孔の端部に、屈折率が前記クラッドと同じかそれよりも小さい石英系微粒子と、屈折率が前記クラッドと同

じかそれよりも小さい光学接着剤とから構成される封止部が形成される、光ファイバを提供する。

前記石英系微粒子は、直径が $1 \mu\text{m}$ 以下の石英微粒子であり得る。

前記石英系微粒子は、屈折率を下げる添加剤をドープした石英微粒子
5 であり得る。

前記光学接着剤は、紫外線硬化型の光学接着剤であり得る。

前記光ファイバにフェルールを装着して光ファイバコネクタとしても良い。

本発明の第 3 の側面によれば、以下の効果が得られる。

10 本発明の光ファイバは、複数の空孔の端部に封止部を形成しているので、研磨粉や研磨剤がファイバ端面に残留することもなく、端面が封止された信頼性のある光ファイバコネクタを提供することができる。このため、コネクタ加工後の信頼性を向上させるとともに、光学的特性も良好なホーリーファイバコネクタを提供することができる。また、封止部
15 は、屈折率がクラッドと同じかそれよりも小さい石英系微粒子と、屈折率がクラッドと同じかそれよりも小さい光学接着剤とから構成されるので、ファイバ端部で硬化した接着剤内の気泡の発生を防ぐことができ、低損失とすることができます。

(本発明の第 4 の側面) 上記第 4 の目的を達成するために、本発明は、
20 コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の最低温度における屈折率が上記コアより低い屈折率整合剤を介して上記他の光ファイバと突き合わせ接続した光ファイバの接続部を提供する。

25 さらに、本発明は、コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の最低温度における屈折率が上記クラッドより低い屈折率整合剤を介して上記他の光ファイバと突き合わせ接続した光ファイバの接続部である。

上記屈折率整合剤は、温度－30℃における波長1.3～1.55μm帯の光の屈折率が1.458以下であり、かつ温度範囲－30～+70℃における屈折率の平均温度係数が $-8.0 \times 10^{-4}/\text{°C}$ 以上、0/°C未満であり得る。

5 上記光ファイバの接続部を筐体内に収納することにより光ファイバ接続器が構成され得る。

本発明の第4の側面によれば、接続損失が小さく、接続損失の温度特性変化が小さい光ファイバの接続部及び光ファイバ接続器を提供することができる。

10 (本発明の第5の側面) 上記第5の目的を達成するために、本発明は、コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の温度範囲における屈折率が上記クラッド以下であり、かつ平均直径あるいは平均長さが100nm以下の微小体を含有する屈折率整合体を介して、上記他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部を提供する。

上記微小体は、純粹石英を主成分とする微粒子で有り得る。

上記屈折率整合体は、屈折率整合剤に上記微小体を混合してなり、その屈折率整合剤と上記微小体との混合重量比が、10:1～1:1で有り得る。

上記光ファイバの接続部を筐体内に収納することにより光ファイバ接続器が構成され得る。

本発明の第5の側面によれば、接続損失および反射量が小さく、接続損失および反射量の温度特性変化が小さい光ファイバの接続部及び光ファイバ接続器を提供することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の好適な第1の実施形態におけるフォトニック結晶光ファイバ(P C F)を示す側面図である。

図 2 (a) は、V 溝接続器を示す斜視図であり、図 2 (b) は、V 溝接続器を用いて図 1 の光ファイバとシングルモードファイバを接続する一工程を示す斜視図であり、図 2 (c) は、図 1 の光ファイバとシングルモードファイバを V 溝接続器で接合した状態を示す斜視図である。

5 図 3 は、図 1 の光ファイバを装着した FC コネクタ用フェルールの断面図である。

図 4 は、他の適用例としてのホーリー光ファイバの断面図である。

図 5 は、従来のフォトニック結晶光ファイバを示す断面図である。

10 図 6 は、本発明の光ファイバ端部の封止構造に用いられるホーリーフ
アイバ 101 の構造例を示し、(a) は縦断面図、(b) は横断面図である。

図 7 は、本発明の第 2 の実施形態に係る光ファイバ端部の封止構造を示す縦断面図である。

15 図 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係る光ファイバ端部の封止構造を示す縦断面図である。

図 9 は、本発明に係る光ファイバ端部にフェルール装着した例を示す縦断面図である。

図 10 は、本発明の第 4 の実施形態に用いられるホーリーファイバの横断面図である。

20 図 11 は、本発明の第 4 の実施形態に係る光ファイバコネクタを示す縦断面図である。

図 12 は、本発明の第 5 の実施形態に係る光ファイバの接続部を示す側面図である。

25 図 13 は、図 12 に示される屈折率整合剤 r の屈折率の温度特性を示す。

図 14 は、本発明の第 6 の実施形態に係る光ファイバ接続器を示す斜視図である。

図 15 は、図 14 に示される光ファイバ接続器の接続損失の温度特性を示す。

図16は、フォトニック結晶光ファイバの一例を示す横断面図である。

図17は、ホーリーファイバの一例を示す横断面図である。

図18は、従来の光ファイバの接続部を示す側面図である。

図19は、図18に示される屈折率整合剤 r_7 の屈折率の温度特性を5示す。

図20は、従来の光ファイバ接続器の一例を示す斜視図である。

図21は、図20に示される光ファイバ接続器の接続損失の温度特性を示す。

図22は、本発明の第7の実施形態に係る光ファイバの接続部を示す10側面図である。

図23は、図22に示される屈折率整合体Rの屈折率の温度特性Aを示す。

図24は、第7の実施形態に係る光ファイバの接続部を有する光ファイバ接続器に関する反射量の温度特性を示す。

15 図25は、図13に示される特性を有する低屈折率整合剤を用いた場合の光ファイバ接続器の反射量の温度特性を示す。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好適な第1の実施形態を添付図面に基づいて詳述する。

20 図1は、本発明の好適な第1の実施形態に係るフォトニック結晶光ファイバ(PCF)を示す側面図である。

まず、本実施形態のPCF11は図5で説明したPCF41と同じであり、その詳細は省略するが、光ファイバはクラッドの周囲がUV樹脂からなる被覆層により被覆されているファイバ心線の状態で用いられ、25 フェルールやその他接続器との接続部分はその被覆層を剥がして使用する。

図1に示すように、PCF11の接続端近傍12の空孔13には、屈折率が石英より低いUV硬化型樹脂14が、充填材として充填されている。UV硬化型樹脂14は使用前は常温液体であり、紫外線を照射させ

ることで硬化する。本実施の形態で使用するUV硬化型樹脂は、硬化後の屈折率が1.42に調整されたエポキシ系の含フッ素UV硬化型樹脂1.4である。

本実施形態のPCF11に充填するUV硬化型接着剤14の屈折率5は1.42であり、PCF11を形成する石英ガラスの屈折率は1.458である。空孔13へ充填する材料の最適屈折率は、屈折率1.458より小さい事は必須であるが、PCF11の空孔径、空孔数、空孔間隔（密度）により異なるので条件が変わる毎に、選定が必要である。充填材料の屈折率が石英ガラスの屈折率より低くても最適屈折率に比べ10て大きい場合、小さい場合それぞれ次のような原因によって接続損失が大きくなる。

充填材の屈折率が最適値より大きい場合、充填された空孔13とコア（石英）の比屈折率差が小さくなるので、中心コアへの光の閉じ込め効果が弱くなり、接続端近傍12でのモードフィールド径（MFD：Mode15Field Diameter）が大きくなる。よって、PCF11とSMFにMFDの不具合が生じ、接続損失が大きくなってしまう。

一方、充填材の屈折率が最適値より小さい場合、充填された空孔13とコアの比屈折率差は比較的大きくなるので、中心コアへの光の閉じ込め効果が強くなり、接続端近傍12でのMFDが小さくなる。よって接20続先のSMFのMFDよりもPCF11のMFDが小さくなり、同様に、MFDの不具合による接続損失が大きくなる。

したがって、円柱空孔13にUV硬化型樹脂14を充填した後、PCF11とSMFの各モードフィールド径が等しくなるように充填材の屈折率を選定する必要がある。

25 次に、PCF11の作製工程を説明する。

まずPCF11の被覆部15を数mm剥がし、端末部16をファイバカッターで切断面が垂直になるよう切断し、UV硬化型接着剤14を端面16に塗布する。端面16に塗布されたUV硬化型接着剤14は数秒ないし数分程度で毛細管現象により、円柱空孔13に浸透する。浸透し

ている間、そのP C F 1 1を保持する時間は接着剤1 4の粘度、表面張力と空孔径に大きく依存する。端面1 6を研磨等で削り込む場合は、その分を考慮して接着剤1 4の浸透長を確保する必要があり、P C F 1 1の切断面をそのまま接続端面1 6とする場合で1 0 0 μ m以上あれば5十分である。

次に、端面1 6に付着している余剰接着剤1 4をガーゼ等で払拭して、P C F 1 1側面から紫外線照射装置等でUV光を照射し、空孔1 3内に浸透したUV型硬化接着剤1 4を硬化させ、完成となる。

次に、V溝接続器を用いてP C F 1 1とシングルモードファイバ10(SMF:Single Mode Fiber)2 1を接続する方法について説明する。

図2(a)に示すように、V溝接続器2 0は両ファイバ1 1, 2 1の端面を突き合わせる突き合わせV字型溝2 2と、その両端に各々のファイバ1 1, 2 1を保持する被覆保持部2 3と、端面を突き合わせた両ファイバを上から押さえるための押さえ蓋2 4から構成される光ファイバ接続器である。15

まず、図2(b)に示すように、石英系SMF 2 1の被覆部2 5を剥がし、端面2 6をファイバカッターで切断する。そのSMF 2 1の端面2 6とP C F 1 1の端面1 6をV字型溝2 2において突き合わせる。このとき、P C F 1 1とSMF 2 1は各々被覆保持部2 3で固定される。

最後に、図2(c)に示すように、押さえ蓋2 4を突き合わせV字型溝2 2の上から押さえ、それにより、両ファイバ1 1, 2 1が固定され、接続完了となる。20

本実施形態の作用を以下に述べる。

P C F 1 1は、P C F 1 1の接続端近傍1 2において、複数の微小な空孔1 3にクラッドより屈折率の低いUV硬化型接着剤1 4を充填させ、それを紫外線照射により硬化させることで空孔1 3を封止しているので、コアとクラッドが同じ屈折率で形成されたP C F 1 1の接続端近傍1 2においてもフォトニック結晶構造が形成され、光をP C F 1 1の中心に閉じ込めることができる。

よって、P C F 1 1 よりM F D の大きい光ファイバとの突き合わせ接続が可能になる。上記で説明したV溝接続器2 0 でP C F 1 1 とS M F 2 1 を接続したときの接続損失は、0. 55 d B と低損失であった。

また、P C F 1 1 の接続端近傍1 2 の空孔1 3 を封止した構造は、P 5 C F 端面1 6 を研磨する際の研磨粉や水分、その他異物の侵入を防ぐことができる。

他の実施形態として、第1の実施形態に係るP C F 1 1 をF Cコネクタ用フェルールに接続した場合について説明する。

図3は、P C F 1 1 を接続したときのF Cコネクタ用フェルール3 0 10 の断面図である。

図3に示すように、フェルール3 0 は光コネクタを構成する要素部品であり、被覆部1 5 を剥がしたP C F 1 1 を固定する固定部3 1 と、P C F 1 1 の被覆部1 5 を装着するファイバ保持部3 2 からなる。単心光コネクタで利用する場合、F Cコネクタ用フェルール3 0 は円筒型をしている。P C F 1 1 は、フェルール3 0 と接着剤で保持部3 1 に固定され、さらにP C F 1 1 を装着したフェルール3 0 は、光コネクタに接続され、F Cコネクタの場合、ねじや押圧ばね等の締結部3 3 により光コネクタに固定される。

UV硬化型樹脂1 4 が充填されたP C F 1 1 は、その接続端近傍1 2 20 がフェルール3 0 の固定部3 1 に固定され、ファイバ心線1 5 が保持部3 2 で接着され、その後、接続部の端面1 6 が研磨される。光コネクタに接続するフェルール3 0 では、P C F 1 1 の接続端近傍1 2 の空孔1 3 が、UV硬化型樹脂1 4 で充填されているため、研磨時にでる研磨粉や水分、その他異物の侵入がなく、それに伴う伝送損失の増加が抑えられ、また、ファイバ強度の疲労劣化が通常より速く進行するのを抑えられる。

P C F 1 1 の接続端近傍1 2 の空孔1 3 に充填する充填材は、UV硬化型樹脂1 4 に限定されるものではなく、ガラス等の光透過性物質であっても良い。

PCF11は、上記したメカニカルスプライス等のV溝接続器20やFCコネクタ用フェルール30への適用に限定されるものではなく、キャピラリー型接続器やその他市販のコネクタ類にも適用できる。

また、本発明のコンセプトは、本実施形態で用いたコアとクラッドの屈折率が同じPCF11だけでなく、コアとクラッドの屈折率が異なるPCFや、図4に示されるホーリー光ファイバ34にも適用できる。ホーリー光ファイバ34とは、コア35の周囲に複数の空孔36を有する光ファイバである。曲げや捻りへの耐性が強く、曲げによる伝送損失の増加が抑えられるので、径の小さいカールを形成する光ファイバカールコードに好適に用いられ得る。

以下、本発明の第2および第3の実施形態に係る光ファイバ端部の封止構造及びその封止方法について図面を参照して説明する。

図6(a)、(b)に、上記光ファイバ端部の封止構造に用いられる代表的なホーリーファイバ101の構造例を示す。同図(a)、(b)において、ホーリーファイバ101は、屈折率の高いコア102と、そのコア102を取り囲んで形成された屈折率の小さいクラッド103とを有し、該クラッド103内のコア102近傍に、ファイバ軸心方向に伸びた4つの空孔104が形成された構造となっている。

図7は、本発明の第2の実施形態に係る光ファイバ端部の封止構造を示す断面図である。同図においては、図6より光ファイバの端部を拡大して示している。この光ファイバ端部の封止構造においては、軸心方向に伸びる空孔104の先端部分が封止部105により封止されている。この封止部105は、ホーリーファイバ101の端面が窪んだ箇所、即ち、端面からやや内部の位置に形成されている。また、クラッド103の外径は、封止部105が形成されている箇所においても、空孔104が形成されている箇所においても、全く同一となっている。なお、図7では2つの空孔104が封止部105により封止されているが、図示されていない他の2つの空孔104の端部も同様に、封止されている。

次に、この光ファイバ端部の封止構造を実現する封止方法について説

明する。

まず、ホーリーファイバ101の端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成した後、この端面から空孔104に微細なガラス粉末を挿入する。ガラス粉末は、光ファイバを構成する材料である石英ガラスであり、粒5 径が1μm以下のものを好適に用いることができる。このガラス粉末を盛って山にしたところに、光ファイバ端面を挿入することによりガラス粉末を空孔104に押し込むことができる。またガラス粉末にアルコールを混ぜて、ペースト状にすれば、より簡単に空孔104に挿入できる。

次に、ホーリーファイバ101の端部に、炭酸ガスレーザ光を照射して加熱を行う。炭酸ガスレーザ光の波長は10μm程度であるため、ガラスによく吸収されて熱を発生する。レーザ光を集光する集光レンズには、この波長域で透明な、セレン化亜鉛、またはゲルマニウムを材料とするレンズが使用できる。このようなファイバ端部のレーザ加熱光学系については、特開平7-318756号公報に詳しく記述されている。10 15 このような炭酸ガスレーザ光による光学系を用いて、コア102と周囲の空孔104近傍をレーザ光で同時に加熱するが、レーザの集光スポットを動かして、部分的な加熱を逐次行うようにしてもよい。ガラス粉末を充分溶融させて加熱を停止すると、ガラスが固まって図7に示すように、ホーリーファイバ101の端面に窪みを有する部分に封止部105 20 が形成される。

この封止方法では、ガラス粉末を溶融させて空孔104を封止するので、クラッド材の流入する量が少なくなり、クラッド径の変化を防止することができる。また、加熱手段として炭酸ガスレーザ光を用いているため、レンズ集光系により、クラッド外径（一般的には125μm）よりも充分小さなスポットに絞れるため、クラッドの周囲を加熱しない状態で、端面部の一部だけを加熱することができ、この点からもクラッド径の変化を防止することができる。また、ガラス粉末として光ファイバを構成する石英ガラスを用いているので、封止部105にひずみが生じにくく、信頼性面で有利となる。25

また、封止部 105 を形成する別の方法として、石英ガラスよりも低融点の他成分ガラス粉末を用いて、ホーリーファイバ 101 の端面から空孔 104 に押し込み、加熱手段（光ファイバ融着器の気体放電、ガスバーナー、電熱線）により、ガラス粉末を充分溶融させることによって 5 も、封止部 105 を形成することができる。

この封止方法においても、ガラス粉末を溶融させて空孔 104 を封止するため、クラッド材の流入する量が少なくなり、クラッド径の変化を防止することができる。また、封止剤として石英ガラスよりも融点が低い種類のガラスを用いており、光ファイバが溶融しない範囲の加熱温度 10 を選べるので、クラッド表面を含んで加熱することも許容される。従つて、加熱手段としては光ファイバ融着器の気体放電、ガスバーナー、電熱線等、従来の加熱手段を広く選ぶことができる利点がある。もちろん、炭酸レーザ加熱法を適用することもできる。

図 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係る光ファイバ端部の封止構造を 15 示す。この端部構造においても、軸心方向に伸びる空孔 104 の先端部分が封止部 106 により封止されている。また、クラッド 103 の外径は、封止部 106 が形成されている箇所においても、空孔 104 が形成されている箇所においても、全く同一となっている。なお、ホーリーファイバ 101 の端部の縫みは図 7 の縫みよりやや深くなっている。

この封止部 106 を形成する方法としては、ホーリーファイバ 101 の端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成した後、ガラス粉末を挿入せずに、そのまま上記の炭酸ガスレーザによる加熱法を適用し、端面を局所的に加熱する。これより、端面から溶融したクラッド材が流入することにより、空孔が封止される。

この際、図 6 に示すように空孔 104 の開口面積がクラッド 103 の断面積より充分小さく、かつ炭酸ガスレーザにより、端部近傍を局所的に加熱しているので、ホーリーファイバ 101 の端面からクラッド材が空孔 104 の奥に向かって流れ込むことでホーリーファイバ 101 の端部を封止でき、かつクラッド径は変化しない。

図7または図8に示すように、ホーリーファイバ101の端部が成形されていれば、一般の光ファイバの接続法、たとえばメカニカルスライスと呼ばれるV溝利用の機械的接続法も利用できる。また、MTコネクタや単心コネクタのフェルールに装着して光コネクタ接続を実施することができる。
5

フェルール装着においては、フェルール先端にストッパーを設け、後方からホーリーファイバ101を挿入したとき、図9に示すように、ホーリーファイバ101の端面がコネクタフェルール106の端面に捕うようとする。必要なら、その後、一般の光ファイバの場合と同様に、
10 コネクタフェルール106の端面を研磨すればよい。

なお、ホーリーファイバ101をコネクタフェルール106に取付けて研磨した後に加熱し、空孔を封止してもよい。この場合、加熱によりホーリーファイバ101端部の形状が変形するので、フェルール106端面を再研磨して形状を整えてよい。空孔の封止箇所は、端面より少し奥まったところになるので、研磨により、端面に残った窪みを消滅させることが可能である。
15

以下、本発明の第4の実施形態に係る光ファイバ及び光ファイバコネクタについて図面を参照して説明する。

図10に、本発明の第4の実施形態において用いられるホーリーファイバ210の断面構造を示す。同図において、ホーリーファイバ210は、屈折率の高いコア211と、そのコア211を取り囲んで形成された屈折率の小さいクラッド213とを有し、クラッド213のコア211の近傍にはコア211の中心軸を対称軸として線対称かつ、等間隔となるように4本の空孔215が形成されている。
25

ホーリーファイバ210としては、通常の1.3μm帯シングルモードファイバを用いることができる。また、空孔215の内径は3μm以上10μm以下が望ましく、例えば7μmとすることができます。各空孔215の中心は、例えばコア211の中心から半径12μmの円周上に位置する。空孔215内には空気又は不活性ガスが充填されており、そ

の空孔 215 の屈折率は 1 である。また、クラッド 213 の屈折率は例えば 1.458 であり、コア 211 にはクラッド 213 より屈折率を高くするためにゲルマニウムが 6~9 モル% 程度添加されている。

図 11 は、本発明の第 4 の実施形態に係る光ファイバコネクタを示す 5 縦断面図である。この光ファイバコネクタ 220 においては、ホーリーファイバ 210 のファイバ軸心方向に伸びる空孔 215 の先端部分が封止部 221 により封止され、ホーリーファイバ 210 の外周にフェルール 223 が装着されている。なお、図 11 ではホーリーファイバ 210 の 2 つの空孔 215 が封止部 221 により封止されているが、図示さ 10 れていない他の 2 つの空孔 215 の端部も同様に封止されている。

この封止部 221 は、石英微粒子と紫外線硬化型の光学接着剤とから構成されている。この封止部 221 を構成する石英微粒子と紫外線硬化型の光学接着剤の屈折率は、共に、クラッド 213 の屈折率と同じかそれよりも小さくする必要がある。以下、その理由について説明する。

15 ホーリーファイバ 210 の優れた曲げ特性は、コア 211 近傍に空孔 215 が存在することに起因するが、仮に、クラッド 13 よりも高い屈折率を持った光学材料を空孔 215 に充填して封止部 221 とすると、クラッド 213 よりも屈折率の高い部分が、本来のコア 211 以外の部分にも生じるので、コア 211 が複数存在する状態になる。そうなると 20 ホーリーファイバ 210 のコア 211 と空孔 215 の間隔が光の波長オーダーで接近している場合、光のカップリング現象が生じ、本来のコア 11 を伝播してきた光が空孔 215 に乗り移る。乗り移った光は、封止部 221 を伝播するが、封止部 221 が形成されていない空間部では伝播されなくなるので、大きな損失の原因となってしまう。そこで、ホーリーファイバ 210 の空孔 215 を封止する封止部 221 の屈折率 25 はクラッド 213 の屈折率よりも高くないことが望ましい。また、仮に、クラッド 213 と同じ屈折率を持った光学材料を空孔 215 に充填して封止部 221 とした場合は、あたかも空孔 215 がない通常の光ファイバと同じ構造となるため、ホーリーファイバ 210 の優れた曲げ特性

の特徴が損なわれることになる。このため、ホーリーファイバ210の空孔215を封止する封止部221の屈折率は、クラッド213の屈折率より低くすることがより好ましい。

封止部221を構成する石英微粒子の粒子径は1μm以下、特に10
5 0nm以下が好ましく、30～40nm程度が最も好ましい。粒子径が
100nm以下になると封止部21中での石英微粒子の体積比を上げ
ることができ、即ち、光学接着剤に対する石英微粒子の混合率を上げ
ることができるので、光学接着剤の硬化時の気泡発生率を抑制するこ
10 が可能となる。石英微粒子の屈折率は、ホーリーファイバ210のクラッ
ド213を構成する石英と同じ(1.458)であるが、石英微粒子に
フッ素を添加したフッ素添加石英ナノ粒子を用いることにより、屈折率
を-0.5～-0.7%程度下げることが可能である。

一方、紫外線硬化型の光学接着剤は、屈折率が室温で1.430である
15 エポキシ系紫外線硬化型接着剤(商品名「オプトダイン1100」(ダ
イキン工業製))を用いることができる。一般に光学屈折率材料はその
屈折率に温度特性を持ち、温度が低くなると屈折率が上昇するため温度
の影響を考慮する必要があるが、上記光学接着剤では-30℃でもその
屈折率が1.45程度であって、クラッド213の屈折率1.458よ
りも低くすることが可能である。

20 石英微粒子と光学接着剤との混合割合は、石英微粒子の割合が高いほど光学接着剤硬化後の気泡の発生率は低くなるが、割合が高すぎると硬化前の石英微粒子を含有した光学接着剤の流動性は失われ、ホーリーフ
アイバ210の空孔215への充填が難しくなる。本発明者らの実験によ
る、光学接着剤と石英微粒子の重量比が、1:1～10:1の間で
25 あれば、実用レベルで、気泡の発生の抑制と空孔215への充填作業の
作業性の両立が図れることが分かった。

石英微粒子の屈折率の温度特性は光学接着剤のそれに比べ無視できるほど小さいので、空孔215に充填した封止部221全体の屈折率を
安定にクラッド213を構成する石英レベルよりも低くすることがで

きる。そのため、曲げ特性を含む光学特性を安定化させることができる。

以下、光ファイバコネクタ220を作製する方法を説明する。

まず、ホーリーファイバ210の端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成した後、石英微粒子と紫外線硬化型光学接着剤との混合物をホーリーファイバ210の端面から空孔215に押し込み、紫外線を照射して光学接着剤を硬化させ、封止部221を形成する。次に、フェルール223をホーリーファイバ210に装着し、ホーリーファイバ210の端面がフェルール223の端面に揃うようにする。必要ならば、その後、一般的の光ファイバの場合と同様に、フェルール223の端面を研磨することもできる。

なお、封止部221の光ファイバコネクタ端面からの形成位置は、空孔215の端面を塞ぎ、かつ、機械的な強度を備えていれば特に規定しなくても良いが、長期信頼性の観点から100μm以上奥に形成されていることが望ましい。

上述したように、本実施形態の光ファイバコネクタにおいては、以下の効果が得られる。

(1) 封止部221により、空孔215の端部を封止しているので、研磨粉や研磨剤がファイバ端面に残留することがなく、端面が封止された信頼性のある光ファイバコネクタを提供することができる。

(2) 封止部221が、紫外線硬化型光学接着剤と石英微粒子とから構成されるので、光学接着剤が硬化した際の体積収縮を石英微粒子により抑制することができる。このためファイバ端部で硬化した接着剤内の気泡の発生を防ぎ、低損失とすることができる。

(3) 屈折率がクラッド213よりも小さく形成された封止部221により空孔215の端部を封止しているので、曲げ特性を含む光学特性を安定化させることができる。

以下、本発明の第5の実施形態に係る光ファイバの接続部及び光ファイバ接続器について図面を参照して説明する。

図12は、本発明の好適な第5の実施形態に係る光ファイバの接続部

を示す側面図である。

図12に示すように、本実施形態に係る光ファイバの接続部301は、図17および図18で説明したホーリーファイバ(HF)361およびシングルモードファイバ371と同じものを用い、被覆層を除去して端末処理したHF361の端面361aを、実使用上の最低温度である-30℃における屈折率がHF361のコア362およびSMF371のコア372より低い屈折率整合剤rを介して、被覆層を除去して端末処理したSMF371の端面371aと突き合わせ接続したものである。

屈折率整合剤rは、突き合わせ接続後のHF361の端面361aとSMF371の端面371a間に、端末処理時の誤差によって空気層が形成されることがあるので、この空気層によって生じる屈折率差によるフレネル反射損失を低減する目的で使用される。

屈折率整合剤rは、例えば、高分子ポリマー系、シリコーン系、紫外線硬化型樹脂からなる。屈折率整合剤rとしては、例えば、温度-30℃における波長1.3～1.55μm帯の光の屈折率が1.458以下であり、かつ温度範囲-30～+70℃における屈折率の平均温度係数が-8.0×10⁻⁴/℃以上、0/℃未満であるものを用いる。

ここで、屈折率の平均温度係数とは、ある温度範囲内における1℃あたりの屈折率の変化量のことを行う。

本例では、図13に示すように、横軸を温度(℃)にとり、縦軸を屈折率にとった温度特性線321に従う温度特性を有するゲル状のシリコーン系屈折率整合剤rを使用した。温度特性線321は、より詳細には、-30℃での屈折率が1.455、20℃での屈折率が1.435、70℃での屈折率が1.417であり、温度範囲-30～+70℃における屈折率の平均温度係数は約-4.0×10⁻⁴/℃である。

温度-30℃における波長1.3～1.55μm帯の光の屈折率が1.458以下である屈折率整合剤rを用いるのは、接続後のHF361の空孔364に侵入した屈折率整合剤rが疑似コアを形成することを防

止し、接続後のHF361の実効的なMFDの広がりを防止するためである。

数値範囲を上記のように限定したのは、以下の点を考慮したからである。一般に、屈折率整合剤rとしては高分子ポリマー系からなるものが用いられるが、その屈折率は温度が上昇すると低下する傾向を示す。-30°Cは実使用上の最低温度であり、屈折率整合剤rの-30°Cにおける屈折率がクラッド363と同等以下であれば、-30°C以上の温度域では疑似コアが形成されることはない。最も普及している石英系光ファイバのクラッドは純粋石英であるため、その屈折率1.458を考慮して、温度-30°Cにおける光の屈折率を1.458以下とした。また、一般に石英系光ファイバを伝送する光の波長は1.3~1.55μmである。

温度範囲-30~+70°Cにおける屈折率の平均温度係数が-8.0×10⁻⁴/°C以上、0/°C未満の屈折率整合剤rを用いるのは、高温域での接続部における反射減衰量を低減するためである。

数値範囲を上記のように限定したのは、以下の点を考慮したからである。+70°Cは実使用上の最高温度であり、このような高温域では、屈折率整合剤rの屈折率低下による接続部における反射特性の劣化が懸念される。そこで、実使用上の反射減衰量のリミットを30dBm以上とした。ここで、反射減衰量はコア362および屈折率整合剤rの屈折率の差によって決まる量である。フレネル反射の式によれば、コア362の屈折率をn1、屈折率整合剤rの屈折率をn2とすると、反射減衰量L_rは以下の式によって求められる。

$$\text{反射減衰量: } L_r = -10 \times \log R \text{ (dBm)}$$

25 ただし、 $R = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$

この式により、コア362の屈折率を1.463とした場合、30dBm以上の反射減衰量を確保するためには、屈折率整合剤rの屈折率は1.39以上である必要があることがわかる。-30°Cと+70°Cの温度差は100°Cであり、屈折率整合剤rに要求される平均温度係数は-

8. $0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 以上、 $0 / ^\circ\text{C}$ 未満となる。

本実施形態の作用を説明する。

光ファイバの接続部 301 では、 HF 361 を屈折率整合剤 r を介して SMF 371 と突き合わせ接続しているので、毛細管現象により、 HF 361 の各空孔 364 内に屈折率整合剤 r が端面 361a から数百 μm の深さまで侵入する。

ここで、屈折率整合剤 r の屈折率は、図 13 の温度特性線 321 に示したように、温度が高くなるにつれて徐々に下がり、実使用上の最低温度である -30°C で 1.455 であり、実使用上の最高温度である $+70^\circ\text{C}$ では 1.417 である。

したがって、屈折率整合剤 r の屈折率は -30°C 以上の温度域では HF 361 のコア 362 (本例では、クラッド 363) の屈折率よりも常に低いので、各空孔 364 内に屈折率整合剤 r が侵入しても、中央部の本来のコア 362 の周囲に擬似コアが形成されることはない。

このため、光ファイバの接続部 301 は、接続後の HF 361 の実効的なコア径、すなわち、モードフィールド径 (MFD) が接続前後で変わらないので、 HF 361 と SMF 371 との接続損失が小さい。

上記実施形態では、 HF 361 と SMF 371 を接続した例で説明したが、 HF 361 同士を接続してもよい。また、クラッド 363 よりコア 362 の屈折率が高い HF 361 の代わりに、コアとクラッドの屈折率が互いに等しい HF を用いてもよい。これらの場合にも、上述と同様の作用効果が得られる。

さらに、 HF 361 の代わりに、図 16 に示すようなフォトニック結晶光ファイバ (PCF) 351 を使用しても、上述と同様の作用効果が得られる。 PCF 351 は、コア 352 の周囲にクラッド 353 を形成し、そのクラッド 353 内にコア 352 を取り囲むようにコア 352 の軸方向に延びる複数の空孔 354 をハニカム (蜂巣) 状に配列形成し、フォトニックバンドギャップ構造の回折格子を構成したものである。

本実施の形態に係る光ファイバの接続部 301 は、使用する HF や PCF

CFの空孔の個数や、クラッド内に分布する空孔分布直径に限定されない。

次に、光ファイバの接続部301を収納した突き合わせ型の光ファイバ接続器の一例を説明する。

5 図14は、本発明の第6の実施形態に係る光ファイバ接続器を示す斜視図である。

図14に示すように、本実施形態に係る単心メカニカルスプライス331は、図12および図13で説明した屈折率整合剤rを用いる点を除き、図20で説明したメカニカルスプライス391と同じ構成である。

10 すなわち、メカニカルスプライス331は、対向する光ファイバ同士を突き合わせて支持し位置決め調芯するためのV溝を有するV溝基板332と、基板332に重ね合わされ、V溝に挿入した光ファイバを押さえるための蓋部材333と、基板332と蓋部材333とを挟持するための挟持部材334とを備えている。

15 基板332と蓋部材333の重ね合わせ部には、その側面にくさび挿入部335が形成され、その両端にガイド穴336が形成される。筐体337は、基板332と蓋部材333とから構成される。

メカニカルスプライス331では、予め光ファイバの突き合わせ位置（基板332および蓋部材333の内面中央部）に図12および図13で説明した屈折率整合剤rを充填しておき、くさび挿入部335にくさびを挿入して基板332と蓋部材333間に隙間を形成し、ガイド穴336からこの隙間に端末処理したHF361およびSMF371を挿入してV溝内で突き合わせた後、くさびを抜き去り、HF361とSMF371を、基板332および蓋部材333で把持して固定・接続する。

25 これにより、メカニカルスプライス331の筐体337内に図12で説明した光ファイバの接続部301が収納され、HF361とSMF371が突き合わせ接続される。

このメカニカルスプライス331は、接着剤や融着による永久接続方法を用いた光ファイバ接続器とは異なり、繰り返し使用可能である。メ

カニカルスプライス 331 の波長 $1.55 \mu\text{m}$ 、室温付近での接続損失は約 0.08 dB であつた。

ここで、図 15 に、接続後のメカニカルスプライス 331 の温度範囲 $-30 \sim +70^\circ\text{C}$ における接続損失の温度特性を示す。図 15 では、横軸を時間にとり、左縦軸を温度 ($^\circ\text{C}$) にとり、右縦軸を接続損失 (dB) にとって、所定時間ごとに 5°C ずつ変化させた温度を黒四角プロットで、そのときの接続損失を黒菱形プロットで示した。

図 15 に示されるように、接続後のメカニカルスプライス 331 の接続損失は、全ての温度範囲で 0.1 dB 未満と安定していた。このような屈折率が低い屈折率整合剤 r を用いた場合に懸念されるのは、屈折率整合剤 r の屈折率が高温域でさらに低下した際の接続部での反射減衰量の大きさである。しかしながら、メカニカルスプライス 331 の $+70^\circ\text{C}$ での反射減衰量は 37 dBm であり、実使用上の反射減衰量のリミットである 30 dBm 以上を満足していた。

このように、メカニカルスプライス 331 は、屈折率整合剤 r が予め充填されているので、HF 361 と SMF 371 を低損失で接続できる。接続損失値は通常の SMF 同士の接続損失値と同等である。

また、メカニカルスプライス 331 は、屈折率整合剤 r が予め充填されているので、接続後の接続損失の温度特性が安定する。接続損失値の変動幅は通常の SMF 同士の接続損失の変動幅と同等である。つまり、メカニカルスプライス 331 は、接続損失の温度特性変化が小さく、特に低温域でも接続損失が低い。

上記実施形態は、HF 361 と SMF 371 がメカニカルスプライス 331 を用いて接続される例であるが、HF 361 同士、PCF 351 と SMF 361、PCF 351 同士がメカニカルスプライス 331 を用いて接続されてもよい。これらの場合にも、上述と同様の作用効果が得られる。

突き合わせ型の光ファイバ接続器としては、V溝型のメカニカルスプライス 331 を使用した例で説明したが、その他の V溝接続器、キャビ

ラリ型接続器など、全ての突き合わせ型の光ファイバ接続器を使用できる。

さらに、繰り返し使用可能なこれらの光ファイバ接続器以外にも、エポキシ系紫外線硬化型接着剤が屈折率整合剤 r を兼ねる永久接続方法 5 を用いた光ファイバ接続器を使用してもよい。

以下、本発明の第7の実施形態に係る光ファイバの接続部及び光ファイバ接続器について図面を参照して説明する。

まず、本発明者らは、前述したメカニカルスプライス391における接続損失の温度特性変化が大きいという課題の対策として、屈折率が図 10 18 および図19の屈折率整合剤 r_7 より低く、図13に示すような温度特性線321に従う低屈折率整合剤を用いてみた。この低屈折率整合剤は、-30℃での屈折率が1.455、20℃での屈折率が1.435、70℃での屈折率が1.417であり、温度範囲-30～+70℃における屈折率の平均温度係数は約 $-4.0 \times 10^{-4}/\text{°C}$ である。

図20に示されるメカニカルスプライス391において、屈折率整合剤 r_7 の代わりに低屈折率整合剤を用いた場合、図15に示すように、波長1.55 μm での接続損失は20℃の環境下で0.08 dBであった。また、接続後のメカニカルスプライス391の温度範囲-30～+70℃における接続損失も、0.1 dB未満と安定していた。

しかしながら、このような低屈折率整合剤を用いた場合に懸念されるのは、高温域で低屈折率整合剤の屈折率がさらに低下した際、HF361とSMF371の接続部における光の反射量の大きさである。

図25は、低屈折率整合剤を使用した際のメカニカルスプライス391の反射量の温度特性を示す。コアの比屈折率差がクラッドに対して0.35%相当ある場合、HF361およびSMF371のコア362、372の屈折率は1.463であるが、図25に示されるように、例えば70℃の場合、その時発生する反射量は-36 dBであり、実用上必要とされる-40 dB以下を十分満足しているとは言えない。

そこで、本発明者らは、鋭意研究の結果、接続損失および反射量の双

方を小さくできる光ファイバの接続部および光ファイバ接続器を想到するに至ったものである。

以下、本発明の第7の実施形態を添付図面を参照して説明する。

図22は、本発明の第7の実施形態に係る光ファイバの接続部を示す5 側面図である。

図22に示されるように、本実施形態に係る光ファイバの接続部30 1は、図17および図18で説明したホーリーファイバ(HF)361 およびシングルモードファイバ(SMF)371と同じものを用い、被覆層を除去して端末処理したHF361の端面361aを、実使用上の10 温度範囲-30～+70℃における屈折率が、HF361のクラッド363およびSMF371のクラッド373の屈折率以下であり、かつ平均直径あるいは平均長さが100nm以下の微小体を含有する屈折率整合体Rを介して、被覆層を除去して端末処理したSMF371の端面371aと突き合わせ接続したものである。

15 屈折率整合体Rは、突き合わせ接続後のHF361の端面361aとSMF371の端面371a間に、端末処理時の誤差によって空気層が形成されることがあるので、この空気層によって生じる屈折率差によるフレネル反射損失を低減する目的で使用される。

20 屈折率整合体Rは、例えば、高分子ポリマー系やシリコーン系の屈折率整合剤、あるいは紫外線硬化型樹脂に、微小体としての平均直径が100nm以下の微粒子(ナノパウダー)、あるいは平均長さが100μm以下の薄い扁平状のリボン体、チューブ体、繊維体を混合してなるものである。本実施形態では、屈折率整合体Rとして、高分子ポリマー系の屈折率整合剤に、純粋石英を主成分とするナノパウダーを混合したもの25 を使用した。

また、屈折率整合剤と微小体との混合重量比は、例えば、10:1～1:1となるようにする。

-30～+70℃における屈折率整合体Rの屈折率を、HF361のクラッド363およびSMF371のクラッド373の屈折率以下に

するには、屈折率整合体RがHF361の端面361aから空孔364内に侵入しても、端面361a近傍での疑似コアの形成を防止し、本来のコア、すなわちHF361のコア363およびSMF371のコア373からの光のカップリング現象の発生を防止するためである。

5 一般に、屈折率整合剤としては、高分子ポリマー系の屈折率整合剤が用いられるが、その屈折率は温度が上昇すると低下傾向を示す。-30℃は実使用上の最低温度なので、-30℃で屈折率整合剤の屈折率がクラッド363、373の屈折率以下であれば、-30℃以上の温度域では、実使用上の最高温度である+70℃でも、端面361a近傍で疑似コアが形成されることはない。

10 平均直径あるいは平均長さが100nm以下の微小体を含有する屈折率整合体Rを用いるのは、光の散乱の防止のためである。また、微小体の平均直径あるいは平均長さが100nmを超えると、HF361とSMF371を突き合わせた際に、HF361とSMF371間の光軸をズラし、軸ズレによる接続損失を誘発させてしまうからである。

15 微小体として純粹石英を主成分とするナノパウダーを使用するのは、純粹石英がHF361のクラッド363およびSMF371のクラッド373とほぼ同じ屈折率であり、純粹石英を主成分とするナノパウダーの屈折率の温度特性が-30～+70℃においてほとんど変化せず、ほぼ一定だからである。したがって、母材となる高分子ポリマー系の屈折率整合剤が純粹石英を主成分とするナノパウダーを含有することで、屈折率整合体Rの屈折率の温度特性変化を緩和できる。

20 また、屈折率整合剤と微小体との混合重量比を10:1～1:1にするのは、混合重量比が10:1未満であると、微小体を含有させたことによる屈折率整合体Rの屈折率の温度特性変化を緩和させる効果が薄く、実用的な意味を持たなくなるからである。また、混合重量比が1:1を超えると、屈折率整合体Rの粘性が高くなり、HF361とSMF371の接続部への塗布および実装が困難になるからである。

次に、屈折率整合体Rの一例を説明する。

－30°Cでの屈折率が1.458の高分子ポリマー系の屈折率整合剤に、ナノパウダー（ホソカワミクロン社製、粒径37nmのSiO₂微粒子）を、高分子ポリマー系の屈折率整合剤とナノパウダーとの混合重量比が10:5となるように混合して屈折率整合体Rを作製した。

5 図23に示されるように、高分子ポリマー系の屈折率整合剤は、横軸を温度(°C)にとり、縦軸を屈折率にとった点線で示される温度特性線Bに従う温度特性を有する。温度特性線Bは、－30°Cでの屈折率が1.458、+70°Cでの屈折率が約1.42であり、温度範囲－30～+70°Cにおける屈折率の平均温度係数は約 $-4.0 \times 10^{-4}/\text{°C}$ である。ここで、屈折率の平均温度係数とは、ある温度範囲内における1°Cあたりの屈折率の変化量のことをいう。

10 また、屈折率整合体Rは、実線で示される温度特性線Aに従う温度特性を有する。温度特性線Aは、－30°Cでの屈折率が1.458、+70°Cでの屈折率が約1.44であり、温度範囲－30～+70°Cにおける屈折率の平均温度係数は約 $-2.0 \times 10^{-4}/\text{°C}$ である。屈折率整合体Rは、ナノパウダーを含有しているので、屈折率の温度特性変化が緩和され、ナノパウダーを含有しない高分子ポリマー系の屈折率整合剤に比べ、屈折率の平均温度係数が半分の値になった。

15 以下、本実施形態の作用を説明する。
20 光ファイバの接続部301では、HF361を屈折率整合体Rを介してSMF371と突き合わせ接続しているので、毛細管現象により、HF361の各空孔364内に屈折率整合体Rが端面361aから数百μmの深さまで侵入する。

25 ここで、屈折率整合体Rの屈折率は、例えば図23の温度特性線Aに示したように、温度が高くなるにつれて徐々に下がり、実使用上の最低温度である－30°Cで1.458であり、実使用上の最高温度である+70°Cでは約1.44である。

従って、屈折率整合体Rの屈折率は－30°C以上の温度域ではHF361のクラッド363の屈折率以下なので、各空孔364内に屈折率整

合体Rが侵入しても、中央部の本来のコア362の周囲に擬似コアが形成されることはない。

このため、光ファイバの接続部301は、実使用上の温度範囲（-30～+70℃）において、本来のコア（HF361のコア363およびSMF371のコア373）からの光のカップリング現象の発生が防止できる。言い換えれば、接続後のHF361の実効的なコア径（モードフィールド径（MFD））が接続前後で変わらないので、HF361とSMF371との接続損失が小さい。したがって、HF361とSMF371とを低損失で接続できる。

また、光ファイバの接続部301は、屈折率整合体Rが屈折率の温度特性変化がほとんどない純粹石英を主成分とするナノパウダーを含有していることから、実使用上の温度範囲において、屈折率整合体Rの屈折率の温度特性変化が緩和され、HF361の端面361aおよびSMF371の端面371aで光の反射が抑制されるので、反射量が小さい。したがって、HF361とSMF371とを低反射で接続できる。

上記実施形態は、HF361とSMF371が接続される例であるが、HF361同士が接続されてもよい。また、クラッド363よりコア362の屈折率が高いHF361の代わりに、コアとクラッドの屈折率が互いに等しいHFを用いてもよい。これらの場合にも、上述と同様の作用効果が得られる。

さらに、HF361の代わりに、図16に示すようなフォトニック結晶光ファイバ（PCF）351を使用しても、上述と同様の作用効果が得られる。PCF351は、コア352の周囲にクラッド353を形成し、そのクラッド353内にコア352を取り囲むようにコア352の軸方向に延びる複数の空孔354をハニカム（蜂巣）状に配列形成し、フォトニックバンドギャップ構造の回折格子を構成したものである。

本実施形態に係る光ファイバの接続部301は、使用するHFやPCFの空孔の個数や、クラッド内に分布する空孔分布直径に限定されない。

次に、光ファイバの接続部301を収納した突き合わせ型の光ファイ

バ接続器の一例を説明する。

図14に示すように、本実施形態に係る単心メカニカルスプライス331は、図22および図23で説明した屈折率整合体Rを用いる点を除き、図20で説明したメカニカルスプライス391と同じ構成である。

すなわち、メカニカルスプライス331は、対向する光ファイバ同士を突き合わせて支持し位置決め調芯するためのV溝を有するV溝基板332と、基板332に重ね合わされ、V溝に挿入した光ファイバを押さえるための蓋部材333と、基板332と蓋部材333とを挟持するための挟持部材334とを備えている。

基板332と蓋部材333の重ね合わせ部には、その側端部にくさび挿入部335が形成され、その両端にガイド穴336が形成される。筐体337は、基板332と蓋部材333とから構成される。

メカニカルスプライス331では、予め光ファイバの突き合わせ位置（基板332および蓋部材333の内面中央部）に図22および図23で説明した屈折率整合体Rを充填しておき、基板332と蓋部材333とが挟持部材334で挟持された状態で、くさび挿入部335にくさびを挿入して基板332と蓋部材333間に隙間を形成し、ガイド穴336からこの隙間に端末処理したHF361およびSMF371を挿入してV溝内で突き合わせた後、くさびを抜き去り、HF361とSMF371を、基板332および蓋部材333で把持して固定・接続する。

これにより、メカニカルスプライス331の筐体337内に図22で説明した光ファイバの接続部301が収納され、HF361とSMF371が突き合わせ接続される。

このメカニカルスプライス331は、接着剤や融着による永久接続方法を用いた光ファイバ接続器とは異なり、繰り返し使用可能である。メカニカルスプライス331の波長1.55μm、室温付近における接続損失は約0.08dBであった。

図24は、接続後のメカニカルスプライス331の温度範囲-30～+70℃における反射量の温度特性を示す。図24では、横軸を時間に

とり、左縦軸を温度 (° C) にとり、右縦軸を反射量 (dB) にとって、所定時間ごとに 5 °C ずつ変化させた温度を黒四角プロットで、そのときの反射量を黒三角プロットで示した。

図 24 に示されるように、接続後のメカニカルスプライス 331 の反射量は、全ての温度範囲で、-41 dB 未満と実用上十分な値 (-40 dB 以下) で安定していた。また、図示していないが、波長 1.55 μm での接続損失も、すべての温度範囲において 0.1 dB 未満と安定していた。

10 このように、メカニカルスプライス 331 は、屈折率整合体 R が予め充填されているので、HF 361 と SMF 371 を低損失かつ低反射で接続できる。接続損失値は通常の SMF 同士の接続損失値と同等である。

15 また、メカニカルスプライス 331 は、屈折率整合体 R が予め充填されているので、接続後の接続損失および反射量の温度特性が安定する。接続損失値の変動幅は通常の SMF 同士の接続損失の変動幅と同等である。つまり、メカニカルスプライス 331 は、接続損失および反射量の温度特性変化が小さく、特に低温域でも接続損失および反射量が低い。

20 上記実施形態は、HF 361 と SMF 371 がメカニカルスプライス 331 を用いて接続される例であるが、HF 361 同士、PCF 351 と SMF 371、PCF 351 同士がメカニカルスプライス 331 を用いて接続されてもよい。これらの場合にも、上述と同様の作用効果が得られる。

25 突き合わせ型の光ファイバ接続器としては、V 溝型のメカニカルスプライス 331 を使用した例で説明したが、他の V 溝接続器、キャピラリ型接続器など、全ての突き合わせ型の光ファイバ接続器を使用できる。

さらに、繰り返し使用可能なこれらの光ファイバ接続器以外にも、エポキシ系紫外線硬化型接着剤が屈折率整合体 R を兼ねる永久接続方法を用いた光ファイバ接続器を使用してもよい。

この発明は、上記の実施形態に何ら限定されるものではない。特許請

求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形もこの発明に含まれる。

請求の範囲

1. コアの周囲に複数の空孔を有する光ファイバの接続端部において、接続端部近傍の空孔に石英系材料より屈折率が低い樹脂またはガラス等の光透過性物質が充填されていることを特徴とする光ファイバ。
5
2. 前記空孔が中央から周期的に六方格子状に配列され、中央に結晶欠陥のあるフォトニック結晶光ファイバである請求項1に記載の光ファイバ。
10
3. コアまたはクラッドに、ファイバの軸心方向に延びる空孔を複数有するホーリー光ファイバである請求項1に記載の光ファイバ。
15
4. 空孔充填用樹脂がUV硬化型樹脂である請求項1に記載の光ファイバ。
15
5. 請求項1に記載の光ファイバを、V溝接続器等を用いて、そのV溝上で前記光ファイバよりもモードフィールド径が大きい光ファイバと突き合わせ、接続することを特徴とする光ファイバの接続方法。
20
6. 請求項1に記載の光ファイバをフェルールに装着し、端面を研磨処理したことを特徴とする光ファイバコネクタ。
25
7. 屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部において、前記空孔がガラスからなる封止部によって封止されており、かつ当該封止部が形成されている部分のクラッド外径が、封止部が形成されていない部分のクラッド外径と同一であることを特徴とする光ファイバ端部の封止構造。

8. 前記封止部は、光ファイバを構成するガラスと同一成分のガラスで構成されている、請求項 7 に記載の光ファイバ端部の封止構造。

5 9. 前記封止部は、光ファイバを構成するガラスよりも低融点のガラスで構成されている、請求項 7 に記載の光ファイバ端部の封止構造。

10. 前記光ファイバは、コネクタフェルールに装着固定されている、請求項 7 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ端部の封止構造。

10

11. 屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、当該端面から前記光ファイバを構成するガラスと同一の成分のガラス粉末を前記空孔に挿入した後、前記光ファイバの端部を加熱して前記ガラス粉末を溶融させることにより、前記空孔を封止することを特徴とする光ファイバ端部の封止方法。

12. 屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、当該端面から前記光ファイバを構成するガラスよりも低融点のガラス粉末を前記空孔に挿入した後、前記空孔の端部近傍を局所的に加熱して前記ガラス粉末を溶融させることにより、前記空孔を封止することを特徴とする光ファイバ端部の封止方法。

13. 屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッドにファイバ軸心方向に延びた複数の空孔が存在する光ファイバの端部に、軸心方向とほぼ直角の端面を形成し、前記空孔の

端部近傍を局所的に加熱して前記空孔を封止することを特徴とする光ファイバ端部の封止方法。

14. 炭酸ガスレーザ光を照射することにより、前記空孔の端部近傍を
5 局所的に加熱溶融させて前記空孔を封止する、請求項 12 又は 13 に記載の光ファイバ端部の封止方法。

15. 前記光ファイバが予めコネクタフェルールに装着固定されている、
請求項 12 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ端部の封止方法。

10 16. 屈折率の高いコアとこれを取り囲む屈折率の小さなクラッドとを有し、当該クラッド内にファイバ軸心方向に延びて複数の空孔が形成された光ファイバにおいて、前記複数の空孔の端部に、屈折率が前記クラッドと同じかそれよりも小さい石英系微粒子と、屈折率が前記クラッドと同じかそれよりも小さい光学接着剤とから構成される封止部が形成されていることを特徴とする光ファイバ。

17. 前記石英系微粒子が、 $1 \mu\text{m}$ 以下の直径を有する石英微粒子である、請求項 16 に記載の光ファイバ。

20 18. 前記石英系微粒子は、屈折率を下げる添加剤をドープした石英微粒子である、請求項 17 に記載の光ファイバ。

19. 前記光学接着剤は、紫外線硬化型の光学接着剤である、請求項 1
25 6 に記載の光ファイバ。

20. 請求項 16 ~ 19 の何れかに記載の光ファイバに、フェルールを装着して成る、光ファイバコネクタ。

21. コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の最低温度における屈折率が上記コアより低い屈折率整合剤を介して上記他の光ファイバと突き合わせ接続したことを特徴とする光ファイバの接続部。
5

22. コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の最低温度における屈折率が上記クラッドより低い屈折率整合剤を介して上記他の光ファイバと突き合わせ接続したことを特徴とする光ファイバの接続部。
10

23. 上記屈折率整合剤は、温度-30℃における波長1.3~1.55μm帯の光の屈折率が1.458以下であり、かつ温度範囲-30~+70℃における屈折率の平均温度係数が-8.0×10⁻⁴/℃以上、0/℃未満である、請求項21または22に記載の光ファイバの接続部。
15

24. 請求項21~23の何れかに記載の光ファイバの接続部を、筐体内に収納して成る、光ファイバ接続器。
20

25. コアの周囲のクラッド内に複数の空孔を有する光ファイバを、他の光ファイバと接続した光ファイバの接続部において、上記光ファイバを、実使用上の温度範囲における屈折率が上記クラッド以下であり、かつ平均直径あるいは平均長さが100nm以下の微小体を含有する屈折率整合体を介して、上記他の光ファイバと接続したことを特徴とする光ファイバの接続部。
25

26. 上記微小体は、純粹石英を主成分とする微粒子である、請求項25に記載の光ファイバの接続部。

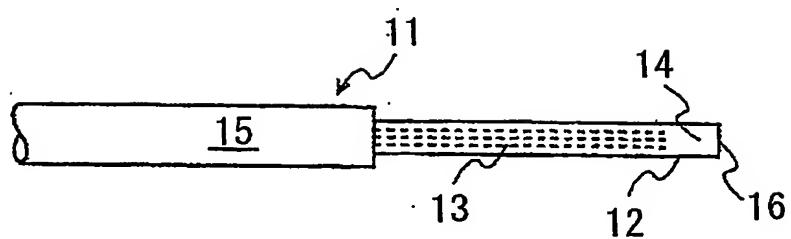
27. 上記屈折率整合体は、屈折率整合剤に上記微小体を混合してなり、その屈折率整合剤と上記微小体との混合重量比が 10 : 1 ~ 1 : 1 である、請求項 25 または 26 に記載の光ファイバの接続部。

5

28. 請求項 25 ~ 27 のいずれかに記載された光ファイバの接続部を、筐体内に収納して成る、光ファイバ接続器。

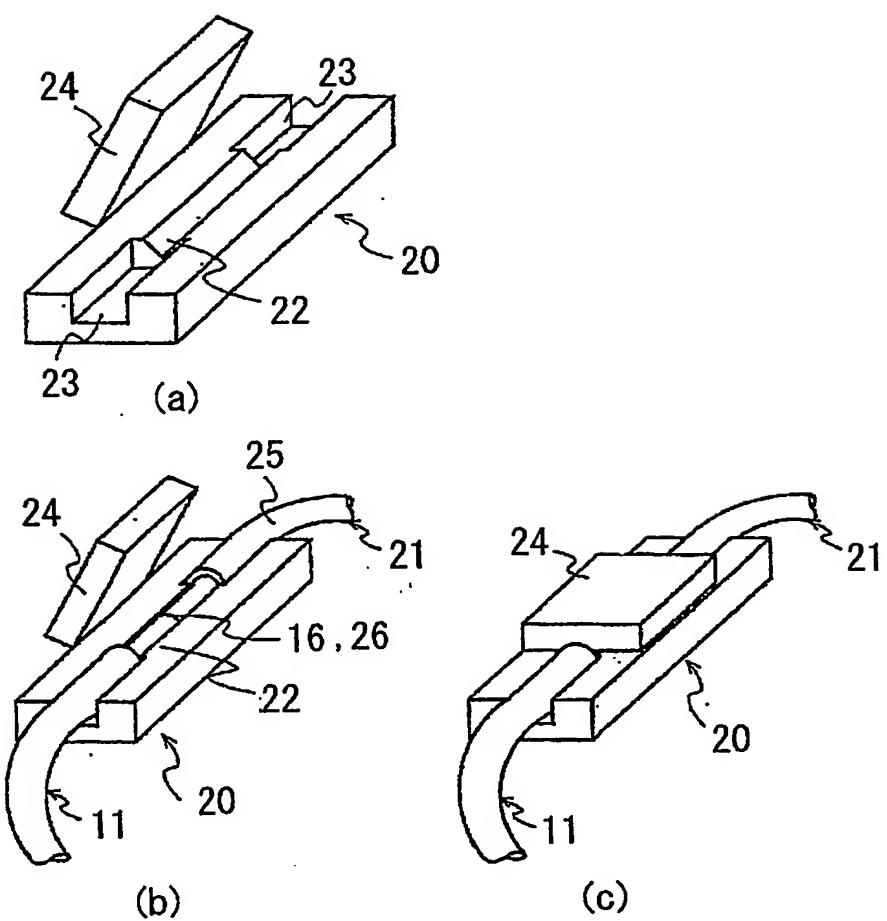
1/25

図1



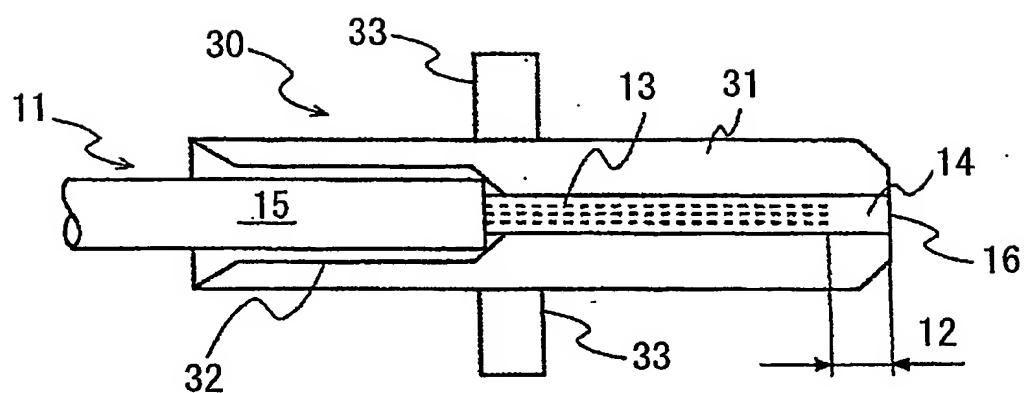
2/25

図2



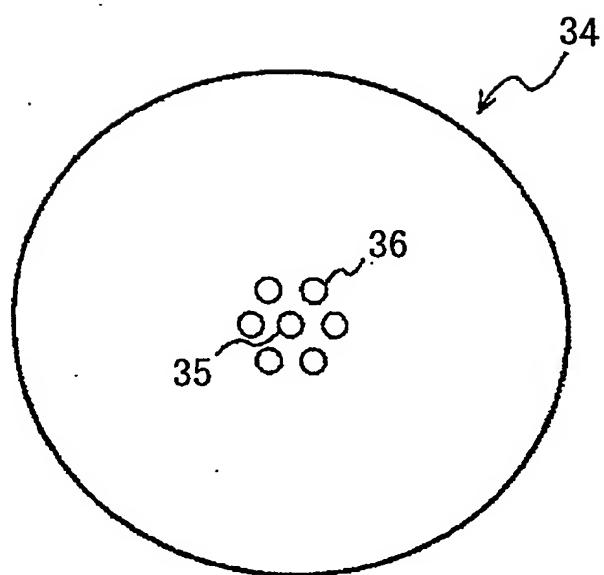
3/25

図3



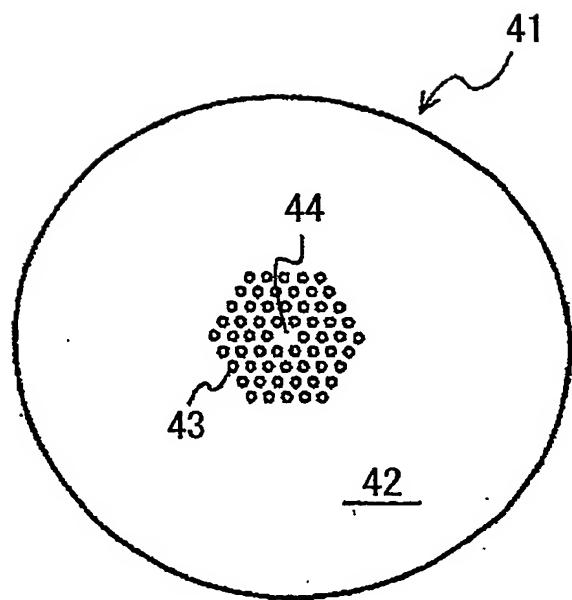
4/25

図4



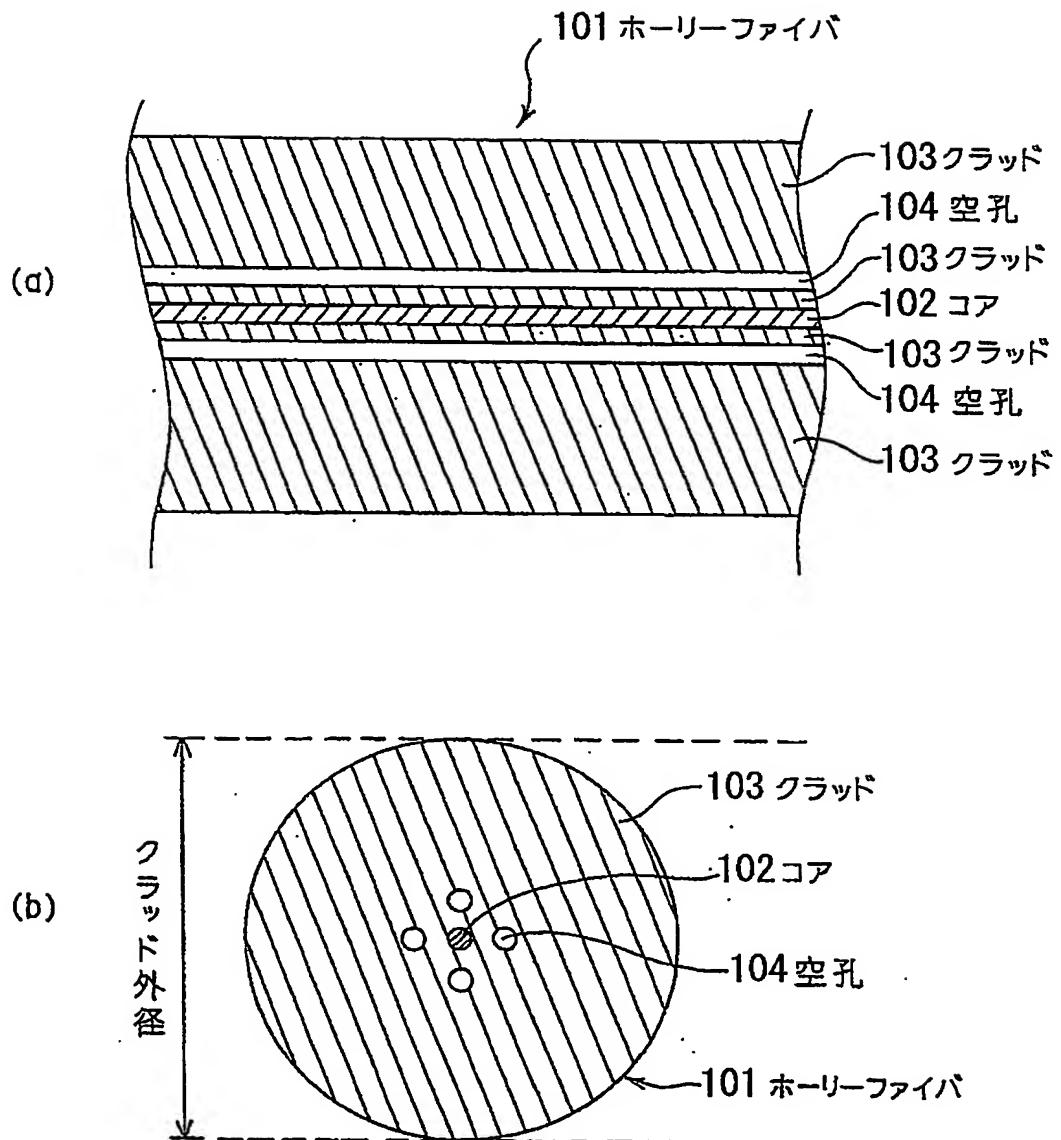
5/25

図5



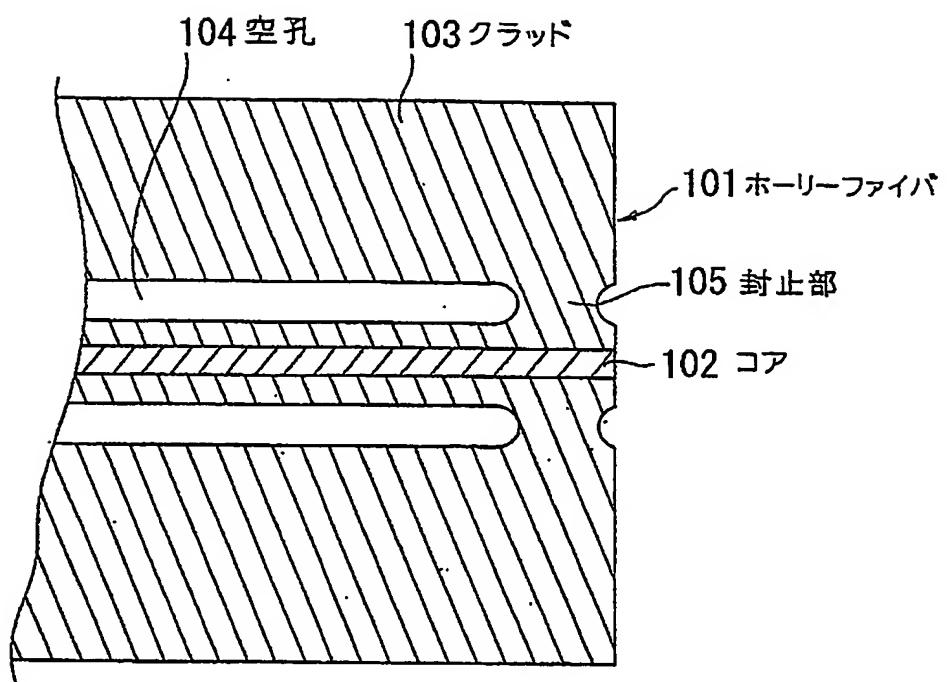
6/25

図6



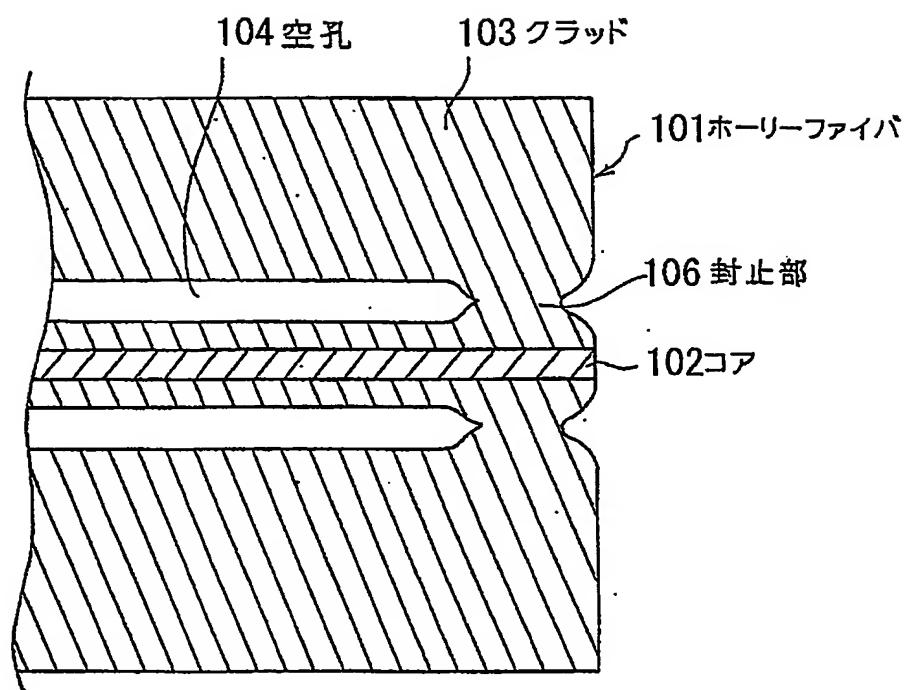
7/25

図7



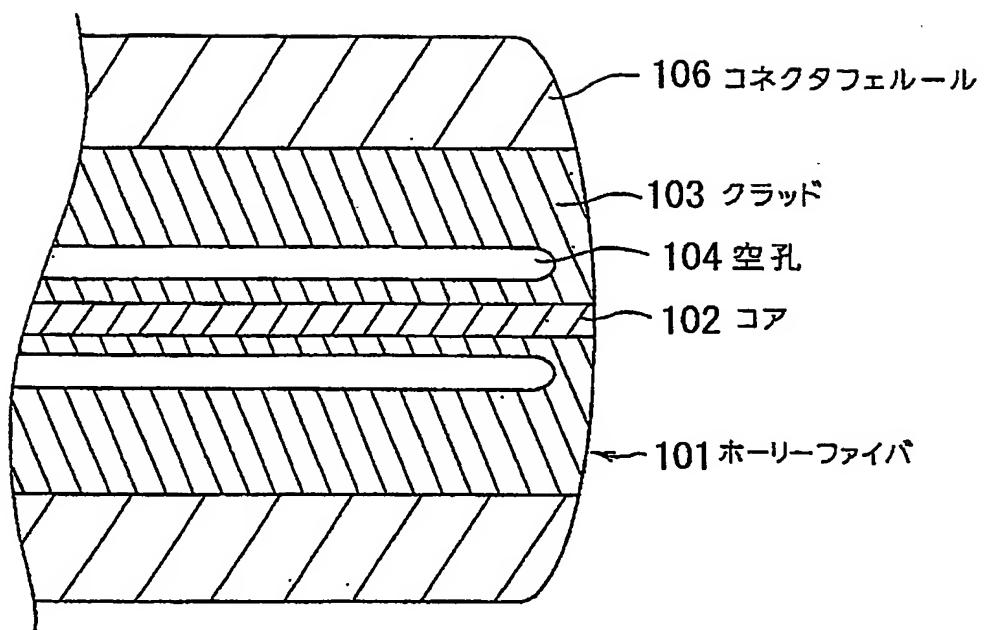
8/25

図8



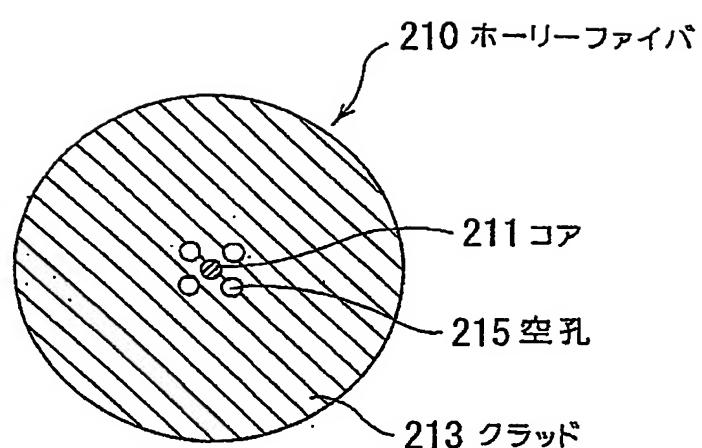
9/25

図9



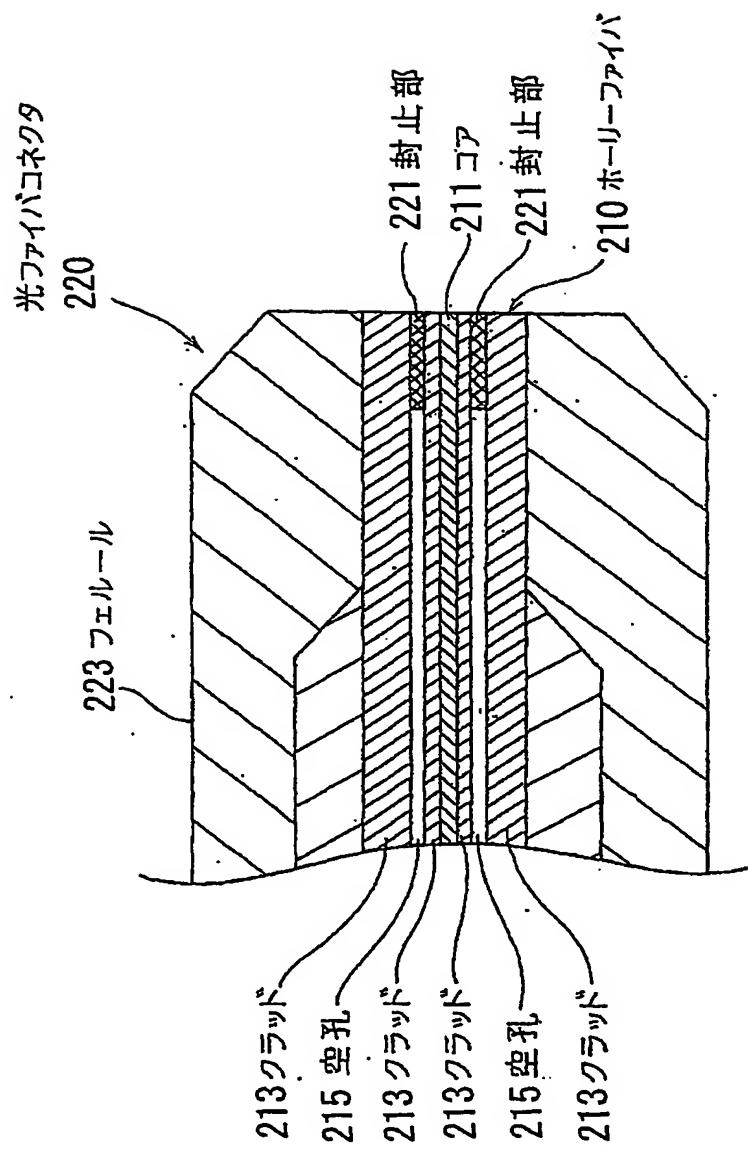
10/25

図10



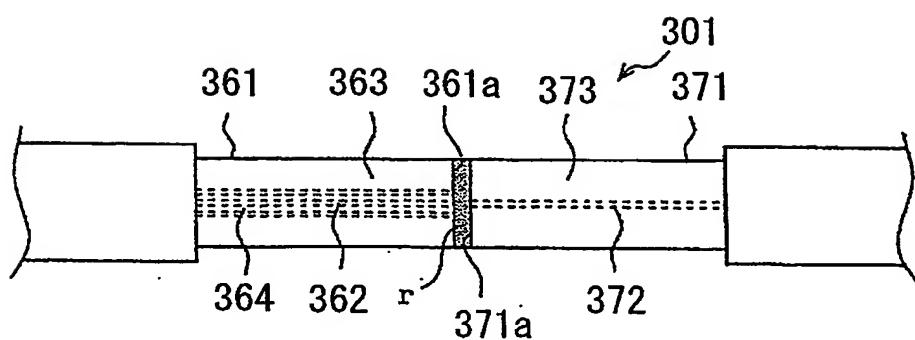
11/25

図11



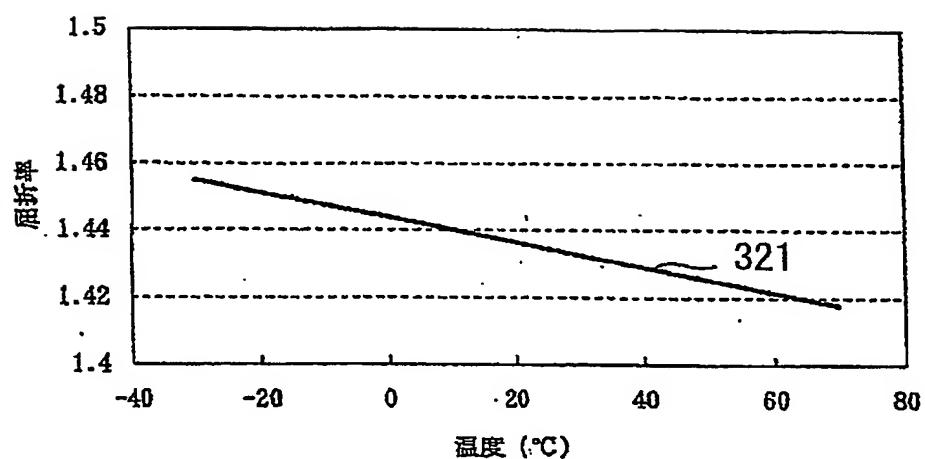
12/25

図12



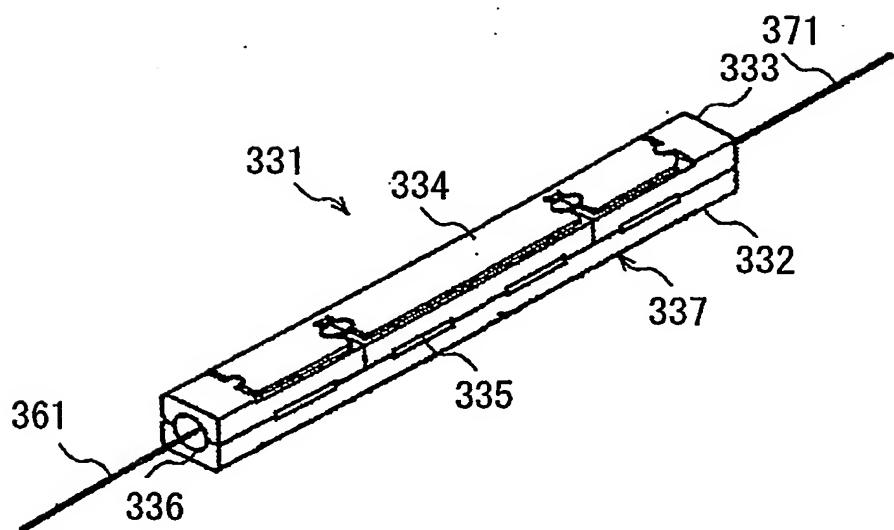
13/25

図13



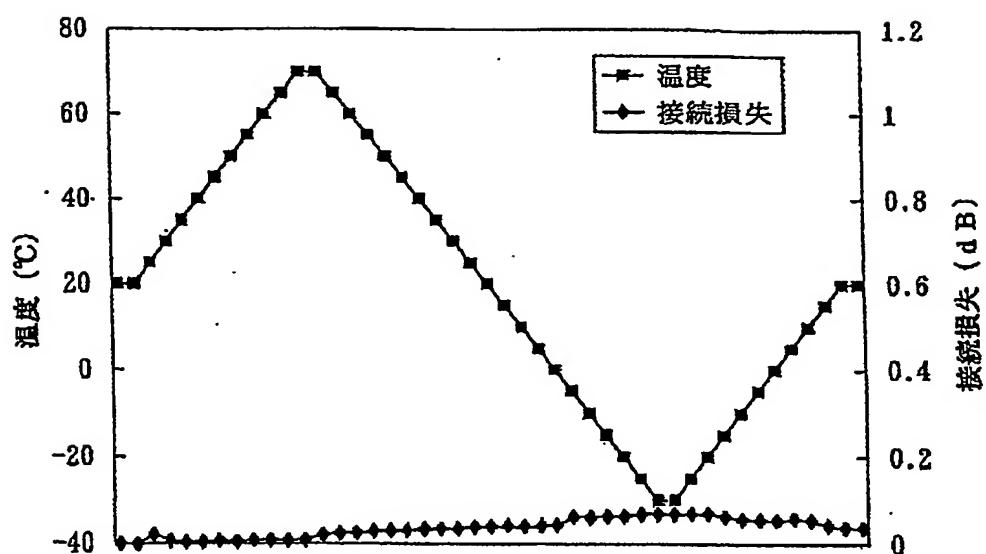
14/25

図14



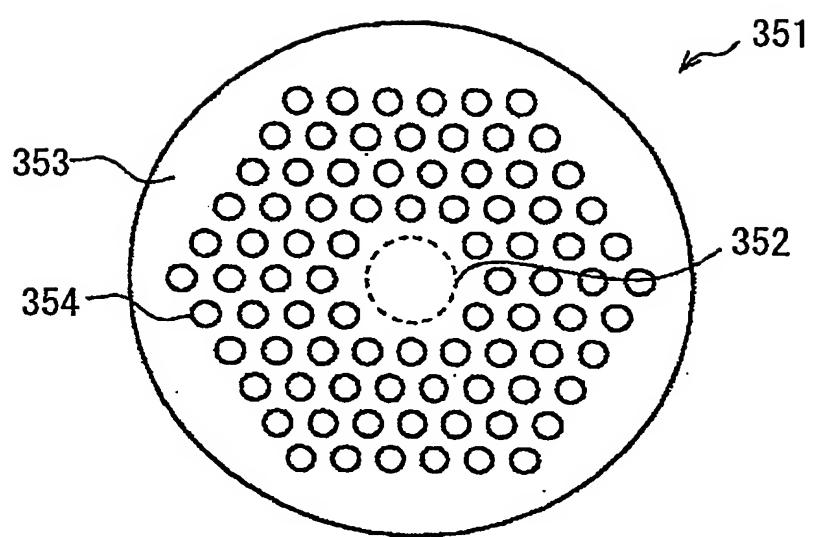
15/25

図15



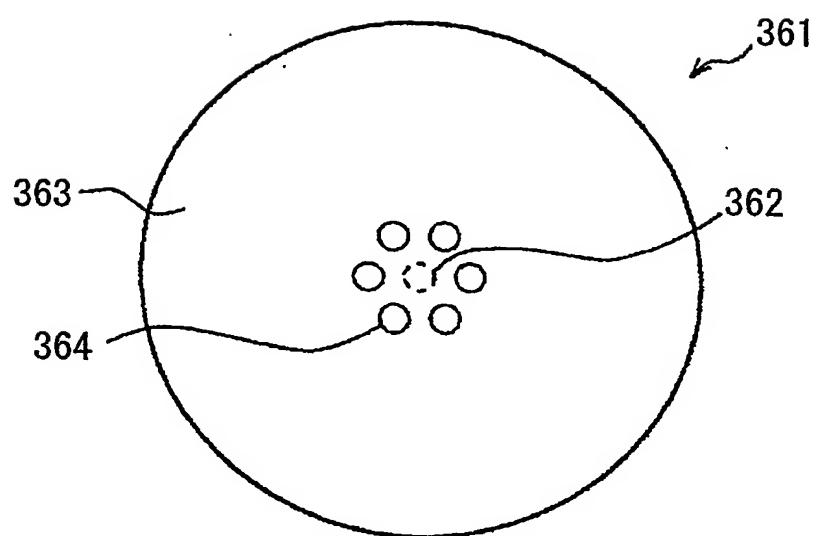
16/25

図16



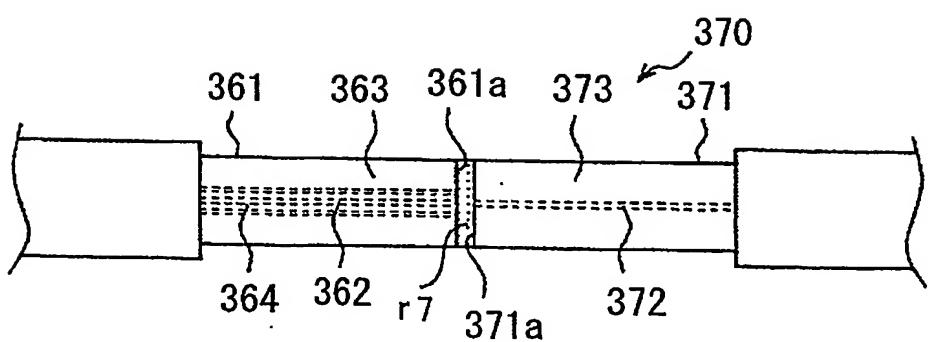
17/25

図17



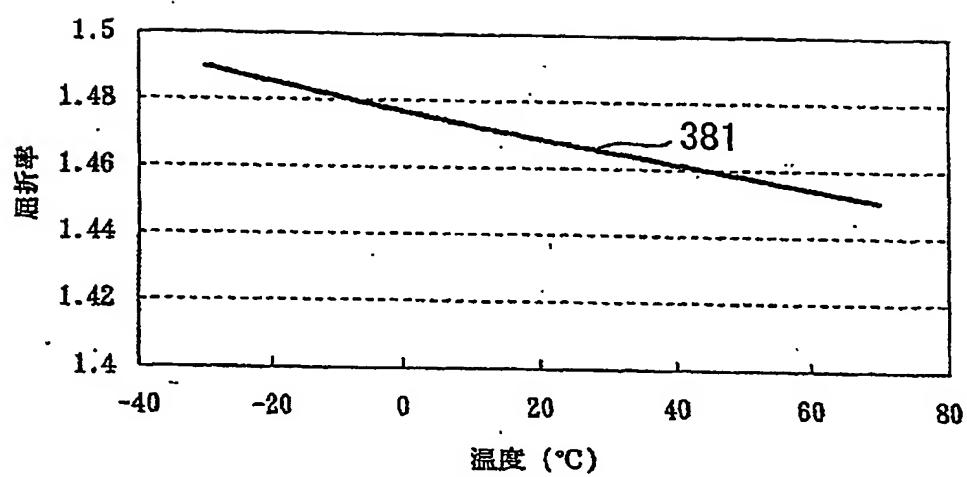
18/25

図18



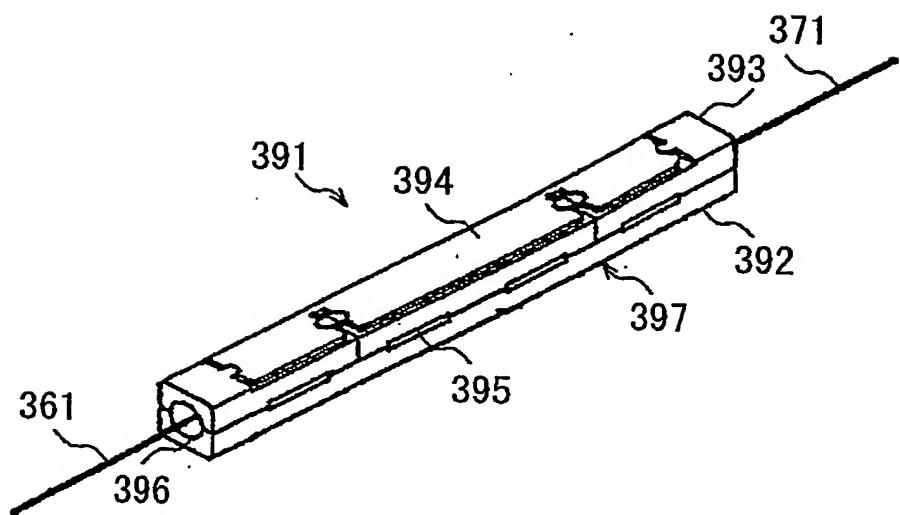
19/25

図19



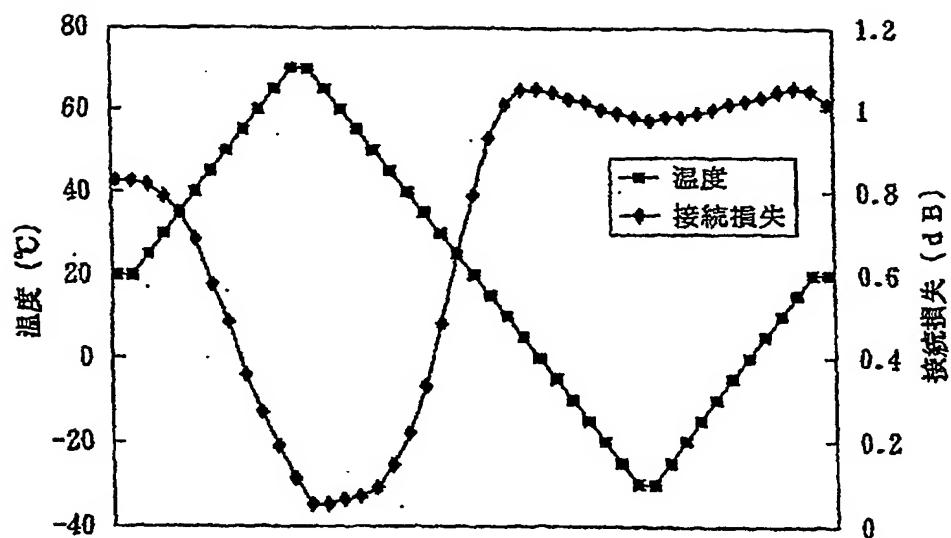
20/25

図20



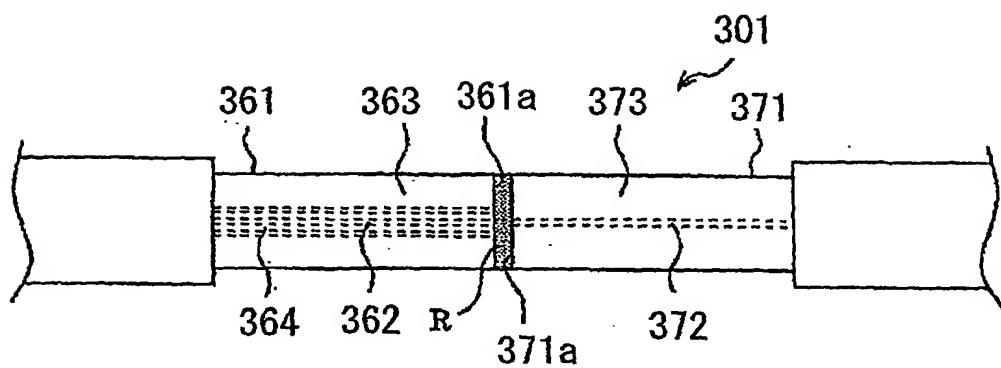
21/25

図21



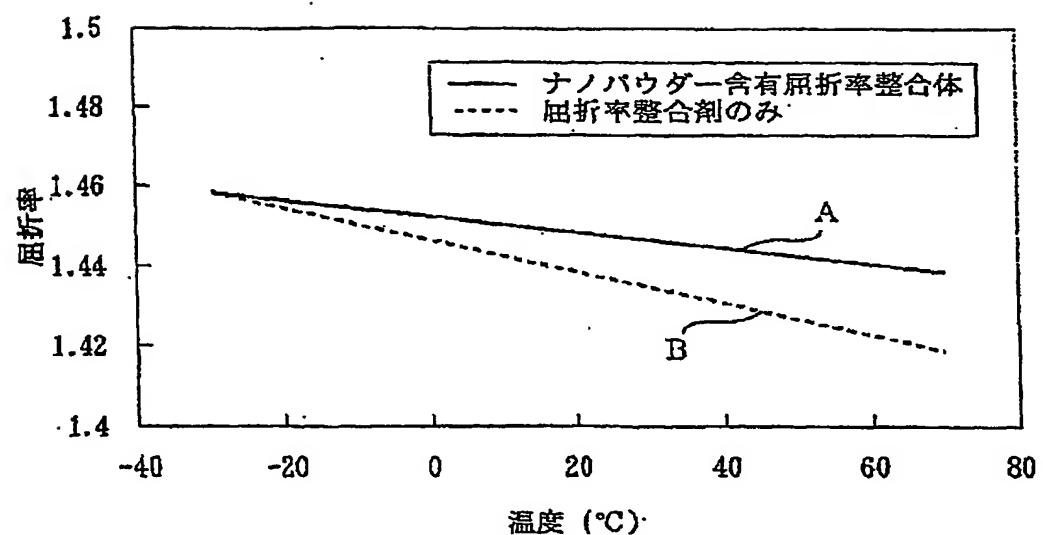
22/25

图22



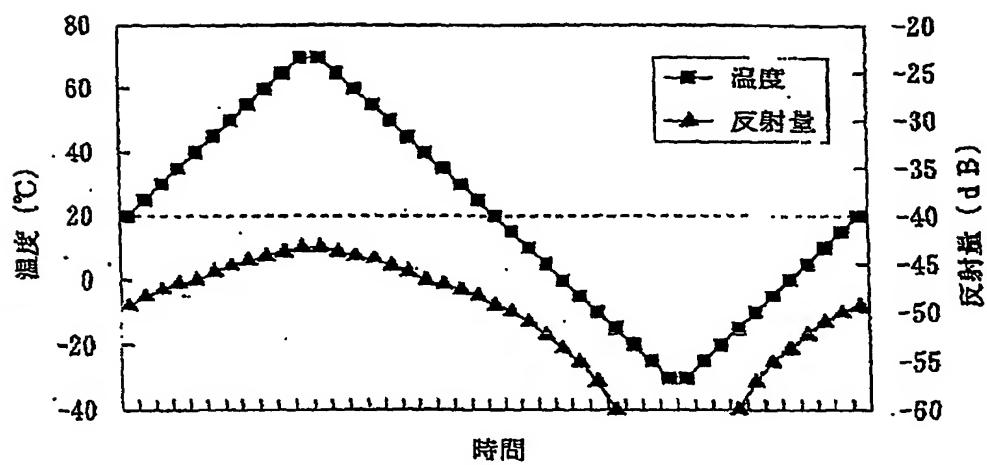
23/25

図23



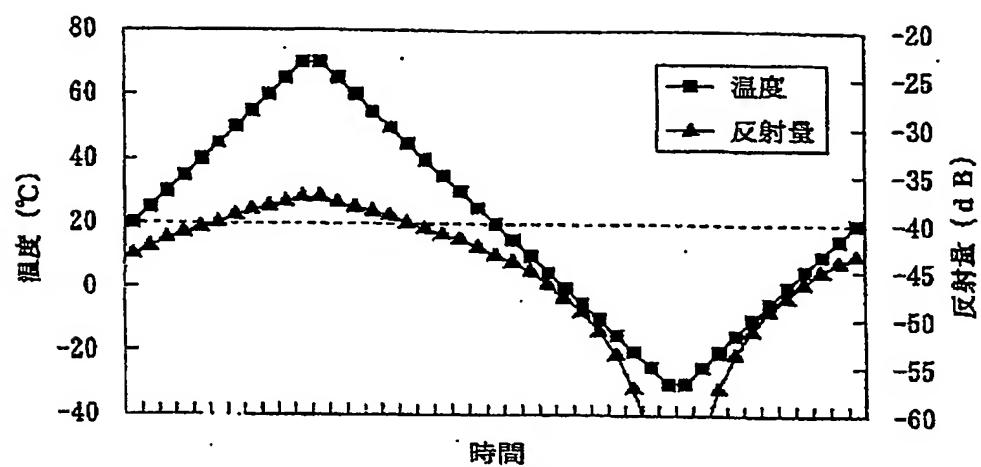
24/25

図24



25/25

図25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No.
 PCT/JP2004/009619

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl⁷ G02B6/00, G02B6/10, G02B6/255, G02B6/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 Int.Cl⁷ G02B6/00, G02B6/10, G02B6/24-6/255, G02B6/38-6/40

 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-236234 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 23 August, 2002 (23.08.02), Par. Nos. [0035] to [0037]; Fig. 6 & EP 1233290 A2 Par. Nos. [0035] to [0038]; Fig. 6 & US 2002-106164 A1	1,3,4,21-23 2,5,6,16-20; 24-28
Y	WO 1999/685 A1 (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE), 07 January, 1999 (07.01.99), Column 1, line 15 to column 11, line 23; Fig. 2 & GB 2341457 A & EP 991967 A & US 6334019 B1 & US 2002-122644 A1 & JP 2002-506533 A	2

 Further documents are listed in the continuation of Box C.

 See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

 Date of the actual completion of the international search
 08 October, 2004 (08.10.04)

 Date of mailing of the international search report
 26 October, 2004 (26.10.04)

 Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/009619

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-243972 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 28 August, 2002 (28.18.02), Par. Nos. [0019], [0024] to [0025]; Fig. 4	5, 6
X	JP 2003-167145 A (Fujikura Ltd.), 13 June, 2003 (13.06.03), Par. Nos. [0039] to [0046]; Fig. 1 (Family: none)	7-15
Y	JP 6-73359 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 15 March, 1994 (15.03.94), Par. No. [0009]; table 1 (Family: none)	16-20, 24-28

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP2004/009619**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically: Claims 26-25

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(1) Inventions as claimed in Claims 1-20 are an invention which, at an optical fiber end having voids around the periphery of a core, seals voids in the vicinity of the end by using a light-permeable substance, such as a resin or glass whose refractive index is lower than that of quartz type substances.

On the other hand, inventions as claimed in Claims 21-28 are an invention relating to connecting an optical fiber having voids around the periphery of a core to another optical fiber.

Therefore, no technical relation in the meaning of PCT Rule 13 can (continued to extra sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/JP2004/009619
--

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

be found between the inventions as claimed in Claims 1-20 and the inventions as claimed in Claims 21-28.

(2) The matter common to Claims 1-6, Claims 7-20 is the fact that at the end of an optical fiber having voids around the periphery of a core, the voids adjacent the end are sealed by a light-permeable substance, such as a resin or glass whose refractive index is lower than quartz type materials.

As a result of the search, however, it is obvious that the common matter is not novel as it is disclosed in JP2002-236234A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 23 August, 2002 (23.08.02), Paragraphs 0035-0037, Fig. 6.

As a result, since the common matter falls within the category of the prior art, this common matter is not a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT Rule 13. 2.

Further, other common matter considered as a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT Rule 13. 2 is not present. Therefore, no technical relation in the meaning of PCT Rule 13 can be found between Claims 1-6 and Claims 7-20.

(3) Accordingly, the inventions as claimed in Claims 1-6, the inventions as claimed in Claims 7-20, the inventions as claimed in Claims 21-28 do not comply with the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G02B6/00, G02B6/10, G02B6/255, G02B6/38

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G02B6/00, G02B6/10, G02B6/24-6/255,
G02B6/38-6/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-236234 A (住友電気工業株式会社) 2.0 02.08.23, 段落【0035】-【0037】、図6	1, 3, 4, 21-23
Y	& EP 1233290 A2, 段落【0035】- 【0038】、FIG. 6 & US 2002-106164 A1	2, 5, 6, 16-20, 24-28

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.10.2004

国際調査報告の発送日

26.10.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

日夏 貴史

2K 3211

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	WO 1999/685 A1 (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE) 1999. 01. 07, 第11欄第15行目—第11欄第23行目, FIG. 2 & GB 2341457 A & EP 991967 A & US 6334019 B1 & US 2002-122644 A1 & JP 2002-506533 A	2
Y	JP 2002-243972 A (三菱電線工業株式会社) 2002. 08. 28, 段落【0019】—【0025】，図4	5, 6
X	JP 2003-167145 A (株式会社フジクラ) 2003. 06. 13, 段落【0039】—【0046】，図1 (ファミリーなし)	7-15
Y	JP 6-73359 A (日本電信電話株式会社) 1994. 03. 15, 段落【0009】，表1 (ファミリーなし)	16-20, 24-28

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

(1) 請求の範囲1-20に係る発明は、コアの周囲に空孔を有する光ファイバの端部において、端部近傍の空孔を、石英材料系より屈折率が低い樹脂またはガラス等の光透過性物質で封止する発明である。

一方、請求の範囲21-28に係る発明は、コアの周囲に空孔を有する光ファイバと、他の光ファイバとの接続に関する発明である。

したがって、請求の範囲1-20に係る発明と請求の範囲21-28に係る発明との間に、PCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

(以下、「特別ページ」に続く)

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあつた。

追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかつた。

(第III欄の続き)

(2) 請求の範囲1-6、請求の範囲7-20とに共通する事項は、コアの周囲に空孔を有する光ファイバの端部において、端部近傍の空孔に石英材料系より屈折率が低い樹脂またはガラス等の光透過性物質で封止することである。

しかしながら、調査の結果、上記共通の事項は、JP 2002-236234A（住友電気工業株式会社）2002.08.23、段落【0035】-【0037】、図6に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。

その結果、上記共通の事項は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではない。

また、PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項も存在しない。したがって、請求の範囲1-6と請求の範囲7-20との間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

(3) よって、請求の範囲1-6に係る発明、請求の範囲7-20に係る発明、請求の範囲21-28に係る発明は、発明の单一性の要件を満たさない。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.